Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung





Information

Sicherheit im chemischen Hochschulpraktikum

Eine Einführung für Studierende



BGI/GUV-I 8553 Oktober 2009

Herausgeber:
Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung (DGUV)

Mittelstraße 51, 10117 Berlin
Tel.: +49 30 288763800
Fax: +49 30 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Erarbeitet in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemischen Industrie (BG RCI), ehemals BG Chemie.

Laufende Aktualisierung: AK Gefahrstoffe der DGUV

Bestell-Nr. BGI/GUV-I 8553, zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfall-versicherungsträger. Die Adressen finden Sie unter www.dguv.de

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung





Information

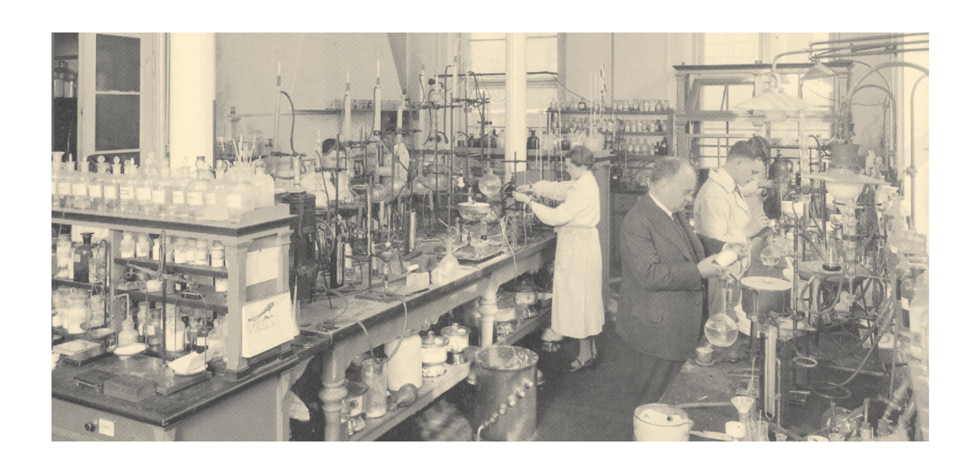
Sicherheit im chemischen Hochschulpraktikum

Eine Einführung für Studierende

BGI/GUV-I 8553 Oktober 2009

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in das sichere Arbeiten



Sicherheit im chemischen Laboratorium 1939:
„Etwa 30 von uns … waren im zweiten Studienjahr in das Labor für qualitative Analysen aufgenommen worden. Wir hatten den geräumigen rauchgeschwärzten, dunklen Saal betreten wie jemand, der beim Betreten des Gotteshauses bedachtsam seine Schritte setzt … Auch hier hatte niemand viele Worte verloren, um uns beizubringen, wie man sich vor Säuren, ätzenden Stoffen, Bränden und Explosionen schützt: Bei den am Institut herrschenden rauen Sitten verließ man sich offenbar darauf, dass die natürliche Auslese ihr Werk tun und diejenigen von uns auserwählen würde, die zum physischen und beruflichen Überleben am meisten geeignet waren. Es gab nur wenige Absaugvorrichtungen; ein jeder setzte gewissenhaft, so wie es das Lehrbuch vorschreibt, bei der systematischen Analyse eine reichliche Dosis Salzsäure und Ammoniak frei, so dass das Labor ständig mit dichtem weißen Nebel aus Ammoniumchlorid erfüllt war, der sich an den Fensterscheiben in winzigen glitzernden Kristallen niederschlug. In den Raum mit dem Schwefelwasserstoff, in dem eine mörderische Luft herrschte, zogen sich Paare zurück, die allein sein wollten, oder Einzelgänger, um ihr Vesperbrot zu essen."

(Primo Levi: Das Periodische System, Carl Hanser Verlag.)

Der Chemiker erwirbt im Laufe seiner Ausbildung und Berufstätigkeit heute vielfältige Kenntnisse und Erfahrungen über die Gefahren und Risiken, die mit seiner Tätigkeit und den von ihm und seinen Kollegen entwickelten Produkten verbunden sind. Das daraus entstehende Sicherheitsbewusstsein ist Bestandteil seines Berufsethos. Die auf dem Gebiet der Sicherheit erworbenen Fertigkeiten und Kenntnisse sind ebenso wichtig wie diejenigen, die komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge oder neueste technische Entwicklungen betreffen.



Ein wichtiges Ziel des Studiums ist daher, Chemiker auszubilden, die

- den sicheren und gefahrlosen Umgang mit Chemikalien beherrschen und daher
- sich selbst und ihre Kollegen und Mitarbeiter vor Gefahren schützen,
- verantwortlich gegenüber der Allgemeinheit und der Umwelt handeln,
- mögliche Gefahren bei der Verwendung von Chemieprodukten durch den Verbraucher erkennen und durch Anweisungen vermeidbar machen.

Mit dem Wissen verbindet sich die Verpflichtung, nicht nur im oben genannten Sinne zu handeln, sondern auch der Öffentlichkeit zu zeigen, dass ein sicherer und gefahrloser Umgang mit Chemikalien möglich ist und praktiziert wird und dass eine sichere Anwendung von Chemieprodukten durch den Verbraucher garantiert ist, wenn die Anweisungen für ihre Benutzung eingehalten werden. Die Unfallstatistik der Unfallversicherungsträger zeigt den Erfolg konsequent eingehaltener Sicherheitsbestimmungen.

Zwar wird der Sicherheitsbereich in der beruflichen Tätigkeit des Chemikers durch zahlreiche Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien weitgehend geregelt, doch geht ein auf solider Fachkenntnis beruhendes Sicherheitsbewusstsein weit darüber hinaus. Sicherheitsbewusstsein kann und muss deshalb erworben und erlernt werden wie alle anderen Fachkenntnisse auch. Für den Chemiestudierenden beginnt dies mit den chemischen Praktika und den ersten chemischen Experimenten.

Unfallverhütung als selbst gestellte Aufgabe in persönlicher Verantwortung ist ein Ziel der Ausbildung. Es ist besonders wichtig, da der Chemiker spätestens dann, wenn er in der Industrie oder an der Hochschule als Vorgesetzter Mitarbeitern Weisungen zu erteilen hat, Verantwortung für

das sichere Arbeiten dieser Menschen übernimmt und gegebenenfalls auch straf- und zivilrechtliche Konsequenzen zu tragen hat.

Die Untersuchung von Tausenden von Arbeitsunfällen in Laboratorien und Produktionsbetrieben hat ergeben, dass deren Ursachen nur zu einem kleinen Teil in technischen Mängeln, überwiegend aber, d. h. in etwa 85 % der Fälle, in menschlichem Fehlverhalten zu suchen sind. Dabei spielen häufig Unkenntnis über die Gefahreneigenschaften von Stoffen oder mangelnde Einsicht in die Art der durchgeführten Reaktionen eine Rolle.

Ein großer Feind bewusst sicheren Arbeitens ist aber auch der Gewöhnungseffekt: Personen, die nach längerer Erfahrung den anfänglichen Respekt vor einer potenziell gefährlichen Methode verloren haben, neigen dazu, Sicherheitsvorkehrungen zu vernachlässigen.

Am besten beugt man durch konsequenten und aufmerksamen Besuch aller angebotenen Sicherheitsbelehrungen vor.

Einige Beispiele von Unfällen in Laboratorien sollen das oben Gesagte unterstreichen.



Schon Reagenzglasversuche können gefährlich sein

Zur Herstellung von Cyclohexanonperoxid erhitzte ein Chemiker 0,5 ml Cyclohexanon und 0,5 ml Wasserstoffperoxid 30 %ig in einem Reagenzglas. Durch eine heftige Reaktion zerknallte das Reagenzglas. Der Chemiker erlitt Verletzungen im Gesicht und an beiden Händen. Die linke Sichtscheibe der Schutzbrille wurde zertrümmert. Die Augen blieben unverletzt.



Substanzeigenschaften muss man kennen

Eine Laborantin sollte aus Lösung eingeengtes und im Exsikkator vorgetrocknetes Silberperchlorat abfüllen. Beim Zerkleinern mit dem Spatel erfolgte eine Explosion von solcher Heftigkeit, dass die Verletzungen nach vier Wochen zu ihrem Tode führten.



Abfallbeseitigung muss beachtet werden

Ein Chemiestudierender schüttete unzulässigerweise zyanidhaltige Abfälle in einen Ausguss. Als kurz danach ein anderer Studierender Salzsäure in den Ausguss goss, entwickelte sich Blausäure, deren Einatmung nach kurzer Zeit zu dessen Tode führte.



Zündquellen gibt es überall

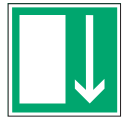
In einem Forschungslabor wurden zahlreiche Präparate, die zum Teil leicht entzünd-

liche Lösemittel enthielten, in einem normalen Haushaltskühlschrank aufbewahrt. Durch die Undichtheit eines Gefäßes bildete sich ein explosionsfähiges Dampf-Luftgemisch, das durch den Schaltfunken des Kühlschrankthermostaten gezündet wurde. Es kam zu einer schweren Explosion mit nachfolgendem Brand und erheblichem Sachschaden.

2 Vor dem Praktikumsbeginn

2.1 Wo sich wichtige Anlagen und Hilfsmittel befinden. Bitte prüfen Sie! Können Sie die folgenden Fragen beantworten?

Wo befinden sich:


Notausgang, Nottreppe, allgemeine Fluchtwege?


Alarmanlagen, Telefon, Notruf, Assistentenzimmer?


Feuerlöscher, Feuermelder?


Atemschutzmasken und -filter?


Körperduschen, Löschdecken?

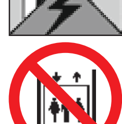

Augenduschen?



Erste-Hilfe-Schränke?

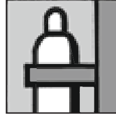

Sanitätsraum, Krankentragen?

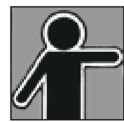
Wissen Sie z. B.,


wie und / oder von wem die Medien (Gas, Wasser, Strom) abgeschaltet werden können?


dass bei einem Brand kein Aufzug benutzt werden darf?


dass Feuerlöscher nach jeder Benutzung frisch gefüllt werden müssen?


dass Druckgasflaschen stets gegen Umfallen gesichert sein müssen?


was „Selbstschutz“ bedeutet?


was bei schweren Unfällen zu tun ist?


welche Chemikalien, mit denen Sie evtl. arbeiten müssen, giftig, explosionsgefährlich oder leichtentzündlich sind?


wo Sicherheitsinformationen zu finden sind?

Über die örtlichen Gegebenheiten müssen Sie sich informieren, in anderen Fragen soll diese Broschüre eine Hilfe sein.

2.2 Wie man sich über gefährliche Eigenschaften von Stoffen und sicherheitstechnische Kenngrößen informiert

Arbeitsvorschriften in Praktikumsbüchern und -manuskripten sind meist so weit erprobt, dass beim Einhalten der Arbeitsanweisungen zweckmäßiges und sicheres Arbeiten gewährleistet ist.

Die meisten dieser einführenden Texte enthalten auch grundlegende Abhandlungen über Sicherheitsfragen im chemischen Laboratorium. Viele Literaturangaben enthalten aber keine gezielten und eindeutigen Hinweise auf Sicherheitsfragen. Bei Unklarheiten wendet man sich an die verantwortlichen Assistenten oder Dozenten.

Man sollte sich aber auch angewöhnen, selber über mögliche Gefahren nachzudenken und weitere Informationsquellen (Gefahrstoffdatenbanken im Internet wie z. B. GESTIS oder GiSChem, siehe Anhang D) heranziehen.

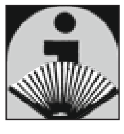
Wichtige Hinweise auf Flüchtigkeit, Brennbarkeit, Acidität, Fähigkeit zur Autoxidation oder zum spontanen Zerfall und andere Eigenschaften liefern die Etiketten der Originalherstellerpackungen von Chemikalien. Über die verwendeten Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen sowie Hinweise auf besondere Gefahren und Sicherheitsratschläge können Sie sich im Anhang C informieren.

Aufgrund geänderter Vorschriften zur Einstufung und Kennzeichnung können die Gebinde entweder nach der bisherigen Stoff- bzw. Zubereitungsrichtlinie oder nach der neuen CLP-Verordnung (GHS) gekennzeichnet sein. Beispiele hierfür finden Sie in den Bildern 1 und 2.

Hinweise auf solche Eigenschaften lassen sich auch durch Analogieschlüsse auf Grund der Verwandtschaft chemischer Strukturen zu bekannten Stoffen erhalten.

Zwar können im Hinblick auf toxikologische Eigenschaften Analogieschlüsse in die Irre führen (Benzol kann Leukämie erzeugen, Toluol nicht), für manche Stoffgruppen geben sie aber auch hier einen ersten Hinweis.

So muss beim Umgang mit alkylierenden Reagenzien im Allgemeinen die Gefahr einer möglichen Krebserzeugung beachtet werden. Näheres hierzu finden Sie im Kapitel 9 „Gefahren für die Gesundheit“ und in der Zusammenstellung „Häufig vorkommende Gefahrstoffe, deren Gesundheitsgefahren und Maßnahmen zur Ersten Hilfe“ in Abschnitt 11.3.



Im Literaturanhang ist eine Reihe wichtiger Bücher und Merkblattsammlungen aufgeführt, aus denen man wertvolle sicherheitstechnische Informationen erhalten kann. Man informiere sich, inwieweit die angegebene Literatur in der Bibliothek verfügbar ist und mache sich mit deren Benutzung ver-



Bild 1 und 2: Herstellerkennzeichnung auf Originalgebinden

traut. Auch in Chemikalienkatalogen findet man Auskunft über viele wichtige Stoffeigenschaften. Im Internet sind Gefahrstoff-Datenbanken zugänglich.



Sollte die Arbeit mit Stoffen notwendig sein, über die keinerlei Informationen vorliegen, so muss ihre Gefährlichkeit unterstellt werden. Einatmen und Hautkontakt sind zu vermeiden und gegebenenfalls sind Vorkehrungen für den Fall von Zersetzungen zu treffen.

2.3 Was man grundsätzlich wissen und beachten muss



Während des Aufenthalts im chemischen Laboratorium muss ständig eine Schutzbrille mit Seitenschutz getragen werden.



Bei Arbeiten, die die Augen in erhöhtem Maße gefährden, muss sie durch eine allseits geschlossene Brille (Korbbrille) ersetzt oder einen Gesichtsschutzschild ergänzt werden.



Bei Arbeiten, die die Hände gefährden, müssen chemikalienbeständige und mechanisch feste Schutzhandschuhe getragen werden.

Viele Gefahrstoffe können in das Handschuhmaterial diffundieren, unter Umständen mit erstaunlich hoher Geschwindigkeit. So dringen Stoffe, wie z. B. Aceton oder Xylol, durch verschiedene Handschuhmaterialien sehr rasch hindurch. Die Schutzhandschuhe sind daher gemäß den Beständigkeitsangaben des Herstellers auszuwählen. Mit benutzten Handschuhen dürfen z. B. keine Lichtschalter, Türklinken, Wasserhähne an Waschbecken, Telefonhörer, Eingabetastaturen oder Schreibzeug angefasst werden, um Kontaminationen zu vermeiden.

2.3.1 Körperschutz und Arbeitskleidung

In Laboratorien ist stets geeignete **Arbeitskleidung** zu tragen. Für den normalen Laboratoriumsbetrieb ist dies ein ausreichend langer Laborkittel mit langen, enganliegenden Ärmeln mit einem Baumwollanteil im Gewebe von mindestens 35 % (siehe Bild 3). Der Laborkittel darf nicht in Seminarräumen, Bibliotheken, Hörsälen, Cafeterien etc. getragen werden.
Bei erhöhter Brandgefährdung, z. B. beim Umfüllen größerer Mengen brennbarer Flüssigkeiten, muss Schutzkleidung aus flammhemmend imprägnierter Baumwolle oder aus schwer entflammbaren Spezialgeweben getragen werden. Beim Umgang mit größeren Mengen ätzender Flüssigkeiten ist flüssigkeitsundurchlässige Schutzkleidung, z. B. eine Schürze aus PVC, zu tragen.

Der Wechsel von normaler Laborkleidung zu Straßenkleidung und umgekehrt muss außerhalb des Laboratoriums stattfinden (siehe Bild 4). Mit Chemikalien verschmutzte Kleidungsstücke müssen sofort gewechselt werden.

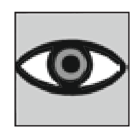


Bild 3 Das Schuhwerk muss fest und geschlossen sein.



Bild 4

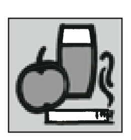
2.3.2 Anwesenheit am Arbeitsplatz



Wer einen Versuch durchführt, darf den Laborplatz nur dann verlassen, wenn eine dauernde Überwachung nicht erforderlich ist, oder wenn ein Kollege, der über den Verlauf des Versuchs unterrichtet ist, die Überwachung fortsetzt.

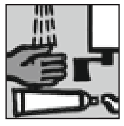
Bei gefährlichen Arbeiten müssen mindestens zwei Personen anwesend sein.

2.3.3 Essen, Trinken und Rauchen



Speisen und Getränke dürfen wegen der Gefahr der Kontamination weder am Arbeitsplatz aufbewahrt noch dort zu sich genommen werden. Auch außerhalb des Arbeitsplatzes dürfen Speisen und Getränke nicht in Chemikalien- oder Laboratoriumsgefäßen aufbewahrt werden. Ebenso dürfen für Chemikalien keine Gefäße benutzt werden, die üblicherweise zur Aufnahme von Speisen und Getränken bestimmt sind.
Im chemischen Laboratorium darf nicht geraucht werden.

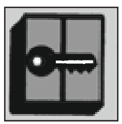
2.3.4 Reinigung und vorbeugende Hautpflege



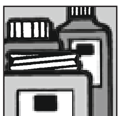
Nach Beendigung der Laborarbeit sind die Hände stets gründlich mit Wasser und Haut schonenden Handreinigungsmitteln zu waschen. Bei durch Chemikalienkontakt oder häufiges Waschen belasteten Händen empfiehlt sich eine regenerationsunterstützende Hautpflege mit einer Fettcreme.

3 Der Umgang mit Chemikalien

Dieses Kapitel zeigt, wie man Kontaminationen mit chemischen Arbeitsstoffen, die Gefährdung von Personen und generell das Entstehen gefährlicher Situationen beim Umgang mit Chemikalien vermeidet. Es schildert die gesetzlichen Grundlagen für den Umgang mit Chemikalien und beantwortet die folgenden Fragen:



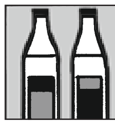
Wie bewahrt man Chemikalien auf?



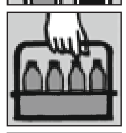
Welche Gefäße sind dafür geeignet?



Wann müssen Chemikalien in einem Abzug aufbewahrt oder besonders behandelt werden?

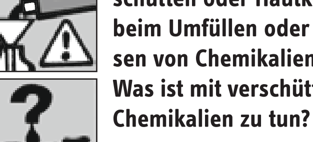


Wie vermeidet man Verwechslungen?

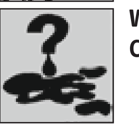


Wie transportiert man Chemikaliengefäße oder -behälter sicher?





Wie vermeidet man Verschütten oder Hautkontakt beim Umfüllen oder Abmessen von Chemikalien?



Was ist mit verschütteten Chemikalien zu tun?

3.1 Rechtsgrundlagen: Chemikaliengesetz und Gefahrstoffverordnung



Das Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz, ChemG) soll den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Zubereitungen schützen, insbesondere sie erkennbar machen, sie abwenden und ihrem Entstehen vorbeugen. Das ChemG soll auch sicherstellen, dass neue Stoffe, bevor sie in Verkehr gebracht werden, auf gefährliche Eigenschaften hinreichend untersucht und die auf Grund der Untersuchungsergebnisse notwendigen Sicherheitsvorkehrungen beim Umgang mit diesen Stoffen beachtet werden.

Der Umfang der vorgeschriebenen sicherheitstechnischen und toxikologischen Untersuchungen hängt von der zur Vermarktung vorgesehenen Menge des Stoffes ab. Von dem Ergebnis der Untersuchungen hängt die Kennzeichnung der Stoffe ab (vgl. Bilder 1 und 2 sowie Anhang C). Auch Verwendungsbeschränkungen und andere Auflagen der Behörden sind möglich.

Die im Wesentlichen auf dem Arbeitsschutzgesetz und dem Chemikaliengesetz beruhende „Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen“ (Gefahrstoffverordnung, GefStoffV) regelt alle Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, also deren Herstellung, Gewinnung und Verwendung. Weiterhin wird in dieser Verordnung die Einstufung und Kennzeichnung von Gefahrstoffen geregelt.

Zweck der Gefahrstoffverordnung ist es, sowohl den Menschen als auch die Umwelt vor stoffbedingten Schäden zu schützen. Die Gefahrstoffverordnung gilt sowohl für die gewerbliche Wirtschaft als auch für Behörden, Schulen und Universitäten und richtet sich an den Arbeitgeber und alle Arbeitnehmer im Betrieb. Beamte, Schüler, Studierende und alle sonstigen an Hochschulen tätigen Personen (z. B. Stipendiaten) stehen in der Gefahrstoffverordnung den Arbeitnehmern gleich.

Gefährdungsbeurteilung

Nach § 7 GefStoffV hat der Labor- bzw. Praktikumsleiter zunächst festzustellen, ob die Beschäftigten und Studierenden Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchführen oder ob Gefahrstoffe bei diesen Tätigkeiten entstehen oder freigesetzt werden. Ist dies wie im chemischen Labor der Fall, so hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten unter folgenden Gesichtspunkten zu beurteilen:

1. gefährliche Eigenschaften der Stoffe und Zubereitungen,
2. Informationen des Herstellers oder Inverkehrbringers zum Gesundheitsschutz und zur Sicherheit insbesondere im Sicherheitsdatenblatt nach § 6 GefStoffV,
3. Ausmaß, Art und Dauer der Exposition unter Berücksichtigung aller Expositionswege,
4. physikalisch-chemische Wirkungen,
5. Möglichkeiten einer Substitution,
6. Arbeitsbedingungen und Verfahren, einschließlich der Arbeitsmittel und der Gefahrstoffmenge,
7. Arbeitsplatzgrenzwerte und biologische Grenzwerte,
8. Wirksamkeit der getroffenen oder zu treffenden Schutzmaßnahmen,
9. Schlussfolgerungen aus durchgeführten arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen.

Der Labor- bzw. Praktikumsleiter darf eine Tätigkeit mit Gefahrstoffen erst aufnehmen lassen, nachdem diese Gefährdungsbeurteilung vorgenommen wurde und die erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden. Ziel der Maßnahmen muss es sein, die Exposition von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen auf ein Minimum zu reduzieren. In chemischen Laboratorien kann davon ausgegangen werden, dass dieses Schutzziel eingehalten ist, wenn

- mit den im Labor üblichen geringen Stoffmengen gearbeitet wird,
- alle Arbeitsgänge mit giftigen, sehr giftigen, krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffen im Abzug durchgeführt und die Abzüge geschlossen gehalten werden, solange nicht an den Apparaturen hantiert wird,
- die Laboratorien und Praktikumsräume personell nicht überbelegt sind,
- Entnahmebehälter und Druckgasflaschen für sehr giftige und giftige Stoffe innerhalb des Abzugs aufgestellt werden,

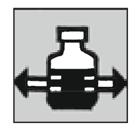
- bei Reaktionen frei werdende sehr giftige, giftige oder ätzende Gase und Dämpfe in Kühlfallen oder Absorptionslösungen aufgefangen werden,
- der Kontakt mit hautresorptiven oder hautgefährdenden Stoffen durch die Arbeitsmethode (z. B. geschlossene Apparatur) oder durch geeignete persönliche Schutzausrüstung (Schutzhandschuhe, ggf. Körper- und Gesichtsschutz) vermieden wird,
- Wert auf persönliche Arbeitshygiene gelegt wird.

Die Gefahrstoffverordnung wird durch eine Reihe von Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) konkretisiert, insbesondere ist hier die TRGS 526 „Laboratorien“ zu nennen. Darüber hinaus sind Hilfestellungen und weitere Erläuterungen in der Information "Sicheres Arbeiten in Laboratorien" (BGI/GUV-I 850-0) enthalten. Für den Bereich "Hochschulen" ist außerdem die Regel "Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich" (GUV-SR 2005) relevant.

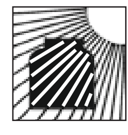
Die folgenden Ausführungen berücksichtigen die oben beschriebenen Vorschriften, Regeln und Informationen.

3.2 Lagerung und Transport

Chemikalien sollten nach Möglichkeit in den Originalgebinden verbleiben, da deren vorschriftsmäßigen Etiketten wertvolle Informationen zum sicheren Umgang liefern, siehe hierzu Abschnitt 2.2. Andere Gefäße müssen nach Entfernung alter Etiketten sorgfältig und eindeutig etikettiert werden; Etiketten müssen mit Klarsichtfolie überzogen werden. Eilbeschriftungen mit Faserschreibern sind für aufzubewahrende Gefäße unzulässig, weil sie wenig haltbar sind. Sie können leicht zu gefährlichen Verwechslungen führen.



Alle Behälter, in denen Chemikalien aufbewahrt werden, müssen aus geeigneten Werkstoffen bestehen. Bei der Aufbewahrung von organischen Lösemitteln in Kunststoffbehältern ist die Möglichkeit der Versprödung und der Diffusion zu beachten.



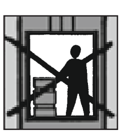
Manche Substanzen können sich unter Lichteinwirkung verändern. Sie müssen in lichtundurchlässigen Gebinden aufbewahrt werden.



Die unnötige Vorratshaltung von Chemikalien über ständig benötigte und für bevorstehende Versuche bereitgestellte Mengen hinaus ist zu vermeiden.

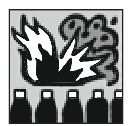


Alle im Laboratorium vorgehaltenen Chemikalien und Präparate sowie deren Gebinde sind mindestens einmal jährlich auf ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen. Chemikalien bzw. Präparate in nicht mehr ordnungsgemäßen Behältern sind umzufüllen oder, falls diese nicht mehr benötigt werden oder unbrauchbar geworden sind, zu entsorgen.



Chemikalien, die giftige, ätzende oder brennbare Dämpfe oder Stäube abgeben können, dürfen nur im Abzug gehandhabt und in kleinen Mengen bereitgehalten werden. Sie dürfen nicht gemeinsam mit Personen in Aufzügen befördert werden.

Beim Transport von Chemikalienbehältern aus Glas besteht stets Bruchgefahr. Flaschen dürfen niemals an ihrem Hals getragen werden. Glasgefäße müssen immer in Eimern, Gestellen oder noch besser in fahrbaren Körben oder Wannen transportiert werden, siehe Bild 5.

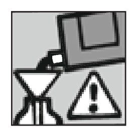


Die Lagerung von Chemikalien unter dem Aspekt der Brand- und Explosionsgefahr behandelt Abschnitt 6.1 „Brennbare Flüssigkeiten“.



Bild 5

3.3 Entnahme und Umfüllen



Bei jedem Umfüllen von Chemikalien besteht die Gefahr des Verschüttens, auch auf Haut und Kleidung, des Einatmens von Dämpfen oder Stäuben und der Bildung zündfähiger Gemische.

Für das Umfüllen kleiner Chemikalienmengen im Labor gibt es einige Regeln, deren Einhaltung Gefahren weitgehend ausschließen:

- Beim direkten Umfüllen sind stets Flüssigkeits- oder Pulvertrichter zu verwenden, auch wenn die persönliche Geschicklichkeit ein subjektiv sicheres Manipulieren ohne diese Hilfsmittel zulässt.

- Beim Umfüllen von Flüssigkeiten, insbesondere mit toxischen oder ätzenden Eigenschaften (im Abzug!), ist das Unterstellen von Wannen, beim Umfüllen von Feststoffen eine Papierunterlage nützlich.

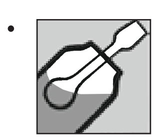
- Die Dimensionen von Vorratsgefäß, Trichter und Auffanggefäß müssen zueinander passen. Für die Entnahme kleiner Flüssigkeitsmengen sollte stets eine genügende Anzahl einfacher Tropfpipetten am Arbeitsplatz verfügbar sein.

- Es ist unter allen Umständen verboten, Flüssigkeiten durch Ansaugen mit dem Mund zu pipettieren. Hierzu stehen

vielfältige Pipettierhilfen zur Verfügung, siehe Bild 6.

-  Gießt man Flüssigkeiten aus einer Flasche, so hält man sie so, dass die Beschriftung bei waagrechter Lage oben ist, damit eventuell herunterfließende Tropfen diese nicht beschädigen. Es ist praktisch, nach dem Eingießen den hängen gebliebenen Tropfen mit dem Stopfen der Flasche abzustreifen.

-  Der Stopfen einer Flasche darf niemals mit dem unteren Teil auf den Tisch gelegt werden.

-  Feste Stoffe darf man den Pulverflaschen nur mit einem sauberen Spatel oder Löffel entnehmen.

-  Der Vorratsflasche einmal entnommene Chemikalien dürfen niemals in diese zurückgegeben werden, da sonst der gesamte Vorrat verunreinigt werden könnte.

3.4 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren

Alle Experimente müssen sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Eine gute Vorbereitung erfolgt anhand einer Betriebsanweisung, in der nicht nur die Reaktionsgleichung und die Versuchsbeschreibung skizziert sind, sondern auch die Kennzeichnung der eingesetzten und synthetisierten Stoffe, Gefahren für



Bild 6

BETRIEBSANWEISUNG

nach § 14 GefStoffV der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
für chemische und artverwandte Laboratorien

VERSUCHSPROTOKOLL

Name		Vorname	Platz	Prakt.	Assistent
Mustermann		Elke	202	OC-1	Musterassi

Herzustellendes Präparat: Phenacylbromid, 2-Bromacetonphenon — Ansatzgröße 0,1 Mol

Literatur: „Reaktionen und Synthesen", Tietze, Eicher – Thieme 1981 – Seite 44

Reaktionsgleichung

$$CH_3 + Br_2 \xrightarrow[HBr]{HOAc} Br + HBr$$

Eingesetzte Stoffe, Produkte	CAS-Nummer	MG	Schmp. Sdp. °C	Gefahrensymbol u. -bezeichnung	Nummern der R- + S-Sätze	Für Ansatz benötigte Stoffmenge
Acetophenon	98-86-2	120,2	Sdp. 202	Xn, gesundheitsschädlich	R22, R36, S26	12,0 g
Brom	7726-95-6	159,8	Sdp.58,8	T+,C,N sehr giftig, giftig, ätzend umweltgefährlich	R26, R35, R50 S7/9, S26, S45, S61	16,0 g
Eisessig	64-19-7	60,1	Sdp.118,1	C, ätzend S26, S45	R10, R35, S23.2	10,0 ml
48 proz. H Br-Lösung	10035-10-6	80,9		C, ätzend	R34, R37, S7/9, S26, S45, S36/37/38	1 Tropfen
Phenacylbromid	70-11-1	199,1	Schmp. 47–48	Xi, reizend	R36/37/38, S24/25	

Wortlaut der oben genannten R- und S-Sätze:

R10 Entzündlich	R50 sehr giftig für Wasserorganismen
R22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	S7/9 Behälter dicht geschlossen an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
R26 Sehr giftig beim Einatmen	S23.2 Dämpfe nicht einatmen
R34 Verursacht Verätzungen	S24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden
R35 Verursacht schwere Verätzungen	S26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren
R36 Reizt die Augen	S36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen
R37 Reizt die Atmungsorgane	S45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen
R36/37/38 Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut	S61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen/Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen.

Versuchsbeschreibung (mit skizziertem Versuchsaufbau)
Aufbau der Apparatur: 100 ml Zweihalskolben, Tropftrichter mit Druckausgleich, Innenthermometer, Magnetrührer und Eisbad.
Zur Lösung von 12 g Acetophenon in 10 ml Eisessig, die einen Tropfen 48 proz. Bromwasserstoffsäure enthält, gibt man unter Rühren und Eiskühlung 16 g Brom so zu, dass die Temperatur der Reaktionslösung 20 °C nicht übersteigt. Man rührt danach 30 Minuten bei Raumtemperatur. Dann nimmt man ca. 1 ml Lösung, bringt durch Anreiben mit dem Glasstab zur Kristallisation und gibt die Impfkristalle zu dem auf 3–4 °C gekühlten Reaktionsgemisch; darauf scheidet sich das Phenacylbromidkristallin aus. Man saugt ab und wäscht mehrmals mit insgesamt 40 ml EtOH/H2O 1:1. Literaturausbeute nach Trocknung im Vakuum 10 g (50 %) vom Schmp. 47–48 °C, farblose Kristalle.

BETRIEBSANWEISUNG
nach § 14 GefStoffV
Stoffdaten siehe Versuchsprotokoll

Gefahren für Mensch und Umwelt

Brom – ist sehr giftig beim Einatmen, verursacht schwere Verätzungen und reizt Augen und Atemwege; wassergefährdender Stoff (WGK 2).
Eisessig – wirkt stark ätzend auf Haut, Augen und Atemwege; entzündlicher und schwach wassergefährdender Stoff (WGK 1).
Acetophenon – reizt die Augen; schwach wassergefährdender Stoff (WGK 1).
Phenacylbromid – reizt die Haut, Atemwege und insbesondere Augen, wirkt stark Tränen reizend; stark wassergefährdender Stoff (WGK 3).
48 proz. HBr-Lösung – wirkt stark ätzend auf Haut und Augen und reizt die Atemwege; schwach wassergefährdende Zubereitung (WGK 1).

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Alle Arbeiten nur im Abzug ausführen, dabei Frontschieber möglichst geschlossen halten. Labor-Schutzhandschuhe aus Gummi oder Kunststoff tragen. Eisessig von Zündquellen entfernt halten (Flammpunkt 40 °C). Bei Arbeiten mit Brom 3 %ige wässrige Natriumthiosulfatlösung neben der Apparatur bereithalten.

Verhalten im Gefahrenfall (Unfalltelefon 112)

Nach Verschütten von Chemikalien, im Brandfall sowie nach Haut- / Augenkontakt mit Chemikalien sofort Assistenten informieren.

Brom: Kleine Spritzer im Abzug verdampfen lassen oder mit 3 %iger Natriumthiosulfatlösung umsetzen. Größere Mengen mit Absorptionsmittel aufnehmen.

Eisessig / HBr-Lösung: Kleine Spritzer mit Wasser beseitigen, größere Mengen mit flüssigkeitsbindendem Material aufnehmen und mit Wasser nachreinigen; Eisessig-Brände mit Kohlen dioxid-oder Pulverlöscher löschen.

Erste Hilfe (Ersthelfer: Alle Assistenten)

Nach Augenkontakt: Bei allen eingesetzten Stoffen und nach Augenkontakt mit Phenacylbromid Augen mit viel Wasser mindestens 15 Minuten lang spülen, ggf. Augenarzt aufsuchen.

Nach Hautkontakt: Bei Brom benetzte Haut sofort mit 3 %iger Natriumthiosulfatlösung und dann mit viel Wasser abwaschen, ggf. Arzt aufsuchen. Bei allen anderen eingesetzten Stoffen mit viel Wasser abwaschen, ggf. Arzt aufsuchen.

Nach Einatmen: Bei allen eingesetzten Stoffen Frischluft, ggf. Arzt aufsuchen.

Nach Kleidungskontakt: Benetzte Kleidung sofort ausziehen.

Sachgerechte Entsorgung

Alle mit Brom verunreinigten Geräte mit wässriger Natriumthiosulfatlösung spülen.
Die Spüllösung kann in das Abwasser gegeben werden. Alle Lösungen mit organischen Lösemitteln neutralisieren und in den Lösemittelabfallbehälter geben.

Präparat zur Synthese mit den auf der Vorderseite berechneten Chemikalienmengen freigegeben.

Unterschrift des Assistenten

Chemikalien ausgegeben; Unterschrift Chemikalienlager

Die eigenen Beobachtungen bei der Durchführung des Versuchs, der Reaktionsmechanismus sowie die Literaturdaten und gefundenen Daten (z. B. Ausbeute, Schmp., Sdp., Brechungsindex) sind gesondert zu protokollieren.
Gesondertes Blatt verwenden; Angaben in der Kopfzeile wie auf der ersten Seite.

Mensch und Umwelt, erforderliche Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln, Verhalten im Gefahrfall, Erste-Hilfe-Maßnahmen und Angaben zur Entsorgung.

Vor Beginn des Experiments ist weiterhin zu prüfen, ob die zur Verfügung stehende Zeit für den gesamten Versuchsablauf ausreicht. Ist dies nicht der Fall, muss im Voraus festgelegt werden, an welchen Stellen der Versuch gefahrlos unterbrochen werden kann.

Ist es notwendig, einen Versuch über längere Zeit oder über Nacht unbeaufsichtigt laufen zu lassen, müssen geeignete Sicherheitsvorkehrungen mit dem verantwortlichen Hochschullehrer oder Assistenten getroffen werden (z. B. erhöhter Brandschutz, richtige Auslegung von Kontroll- und Regeleinrichtungen, sichere Abschaltung bei Stromausfall).

Die Verfügbarkeit aller benötigten Chemikalien und Geräte muss vor Beginn eines Versuches sichergestellt sein. Die Suche nach fehlendem Material führt insbesondere in schwierigen Phasen eines Versuches unweigerlich zu Hektik und damit zu erhöhtem Sicherheitsrisiko.

Wenn man einen Versuch bereits am Vortag vorbereitet, gewinnt man Zeit und Flexibilität.

Folgende Vorsichtsmaßregeln müssen immer beachtet werden:

- Chemikalien dürfen nicht mit der Haut in Berührung kommen, dürfen also auch nicht angefasst werden.
- Mit gefährlichen Substanzen darf nur in kleinen Mengen gearbeitet werden. Je gefährlicher eine eingesetzte oder entstehende Substanz ist, desto kleiner sollte der Ansatz gewählt werden.
- Siedeverzüge bei Erhitzen von Flüssigkeiten müssen durch Rühren, Siedesteinchen, Siedeperlen, Siedekapillaren, etc. vermieden werden. Reagenzgläser müssen dazu ständig geschüttelt werden, da sonst die ganze Flüssigkeit durch plötzliches Aufkochen herausspritzen kann. Die Öffnung eines Reagenzglases darf man nie auf sich oder eine andere Person richten!
- Arbeiten, bei denen Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten können, dürfen grundsätzlich nur in Abzügen ausgeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise Abdampf- oder Abraucharbeiten sowie das Erhitzen von Ölbädern bei Destillationen.
- Die Frontschieber und verschiebbaren Scheiben sind bei solchen Arbeiten möglichst geschlossen zu halten (siehe Bilder 7 und 8). Bei geöffnetem Frontschieber darf nur in begründeten Ausnahmefällen gearbeitet werden, da

hierbei der Schadstoffaustritt höher und der Benutzer des Abzuges nicht gegen verspritzende gefährliche Stoffe oder umherfliegende Glassplitter geschützt ist. Der Kopf sollte jedoch in jedem Fall im Schutz der Scheibe sein.

- Der Betrieb von Bunsenbrennern im Abzug kann die Luftströmung erheblich stören und deshalb sind diese nur im notwendigen Umfang zu betreiben.

- Die Abzugswirkung wird ebenso durch Strömungshindernisse, wie z. B. Standflaschen oder herumstehende Geräte, stark beeinträchtigt. Die Abzüge sollten daher so weit wie möglich freigeräumt sein. Abzüge dürfen nicht zur Lagerung von Chemikalien oder zur Aufstellung von abzusaugenden Großgeräten (Muffelöfen, Trockenschränke etc.) missbraucht werden!

- Im Abzug austretende Gefahrstoffe sind aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes möglichst an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle zu erfassen und z.B. durch Absorption (siehe Restgaswäsche, Bild 7) zu beseitigen.

- Bei Benutzung eines Rotationsverdampfers lässt sich durch richtige Einstellung der Wasserbadtemperatur und ein dem Lösemittel angepasstes Vakuum eine gute Kondensation erreichen. Bewährt hat sich der Einsatz von geregelten Rotations- oder Membranpumpen, die gegenüber Wasserstrahlpum-



Bild 7

Abzugsvorrichtung herkömmlicher Bauart mit vertikal verschiebbarem Frontschieber und externer Zuluft

- Frontschieber stets geschlossen halten, wenn der Abzug nicht in Benutzung ist oder die aufgebaute Apparatur im Moment nicht bedient werden muss.
- Bei Arbeiten an den Apparaturen Frontschieber nicht mehr als unbedingt öffnen; der Kopf sollte immer im Schutz der Scheibe sein.
- Die Abzugswirkung ist bei heruntergezogenem Frontschieber, auf Grund der dann hohen Strömungsgeschwindigkeit im Lufteintrittsspalt, am größten!

Wirksamkeit eines Abzugs in Abhängigkeit vom Öffnungsgrad des Frontschiebers:

Frontschieberöffnung ►

Bei Luftgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s ist mit Sicherheit die Gefahr gegeben, dass am Abzug vorbeigehende Personen durch die durch sie verursachte Luftbewegung, Schadstoffe aus dem Abzug herausziehen.

mittlere Luftgeschwindigkeit im Frontschieberspalt (m/s) ►

Bei modernen Abzügen mit Regelelektronik gibt es viele verschiedene Ausführungsformen. Hier muss eine Einweisung durch den technischen Betrieb oder eine entsprechend unterwiesene Person (z. B. Praktikumsassistent) erfolgen. Auf keinen Fall darf eine für den Anwender als störend empfundene Regelelektronik abgeklemmt oder verstellt werden! Die genannten Grundregeln für herkömmliche Abzüge gelten auch hier.

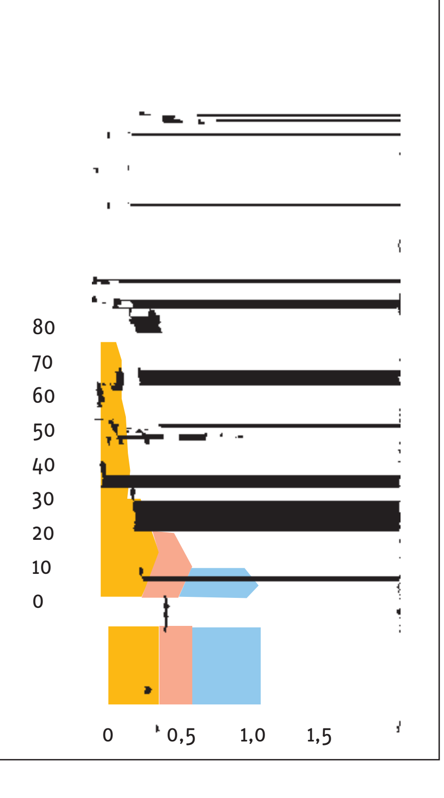


Bild 8

pen den Vorzug haben, dass sie Abwasser sparen und dieses vor Verunreinigungen bewahren. Die in der Vorlage aufgefangenen Lösemittel können teilweise durch Destillation wieder aufgearbeitet oder zur Entsorgung gesammelt werden.

- Verspritzte oder verschüttete Chemikalien müssen sofort in geeigneter Weise entsorgt werden. Konzentrierte Säuren oder Basen werden neutralisiert und die Flüssigkeit anschließend aufgewischt. Hierbei müssen Schutzhandschuhe getragen werden. Gefährliche Flüssigkeiten werden am besten mit geeignetem Adsorptionsgranulat (für starke Oxidationsmittel, z. B. konz. HNO_3 oder $HClO_4$, nur mineralische Absorptionsmittel, keine Kunstharzbinder verwenden!) aufgenommen. Das benutzte Granulat wird in Plastikbeuteln gesammelt und als Sondermüll beseitigt.

3.5 Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren mit speziellen Chemikalien

Säuren und Basen
Beim Verdünnen von konzentrierten Säuren mit Wasser und beim Lösen fester Alkalihydroxide in Wasser ist wegen der dabei frei werdenden Wärme Vorsicht geboten. Konzentrierte Säuren (insbesondere Schwefelsäure) sind langsam unter Rühren in Wasser einzugießen und nicht umgekehrt. Laugen und stark basische Amine, insbesondere höhere Alkylamine, wirken noch stärker ätzend als Säuren auf Augen und Haut.

Fluorwasserstoff
Arbeiten mit wasserfreiem Fluorwasserstoff und Flusssäure dürfen nur in einem Abzug vorgenommen werden. Dabei sind zusätzlich zur Schutzbrille ein Schutzschirm, lange Schutzhandschuhe oder erforderlichenfalls eine Vollmaske zu tragen. Wegen der starken Ätz- und Giftwirkung ist bei diesem Stoff Einatmen und Hautkontakt unbedingt zu vermeiden. Kommt es trotzdem zu einer Inhalation oder einem Hautkontakt, ist eine schnelle Erste Hilfe besonders wichtig, siehe Abschnitt 11.3.

Perchlorsäure, Azide, Permanganate
Wasserfreie Perchlorsäure, Perchlorate und Chlorate neigen in Gegenwart oxidierbarer Stoffe zur Explosion, Azide neigen zur Selbstzersetzung. Chlorate sowie Permanganate können bei Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure ebenfalls Explosionen verursachen.

Alkalicyanide
Aus Alkalicyaniden entsteht bei Einwirkung von Säure Cyanwasserstoff. Diese Chemikalien dürfen daher nicht in den Ausguss gegeben werden (siehe auch Abschnitt 5.2 Entsorgung von Laborabfällen).

Quecksilber
Beim Umgang mit Quecksilber ist dafür zu sorgen, dass niemand der Einwirkung von Hg-Dampf ausgesetzt ist. Verspritzte Quecksilberteilchen sind sofort unschädlich zu machen. Dies geschieht entweder durch Einsammeln mit Hilfe einer Quecksilberzange oder Einsaugen in eine Quecksilberpipette oder durch chemische Umsetzung mit Jodkohle oder Mercurisorb®
(siehe auch Abschnitt 5.2).

Ether
Um Explosionen beim Abdestillieren etherhaltiger Lösungen infolge eines Gehaltes an Peroxiden zu vermeiden, ist Ether stets in braunen Flaschen über festen KOH-Plätzchen aufzubewahren. Ein verbleibender Sumpf darf nie restlos ausdestilliert werden!

Die Prüfung auf einen eventuellen Peroxidgehalt kann mit speziellen Teststäbchen oder Reagenzien (z. B. Titan (IV)-sulfat oder Kaliumjodid) durchgeführt werden. Peroxide können mit Eisen(II)-sulfat entfernt werden.

Natrium
Natriumreste werden wie in Abschnitt 5.2 beschrieben beseitigt. Wegen der Wasserstoffbildung und der damit verbundenen Explosionsgefahr darf Natrium keinesfalls in Wasser geworfen werden!

Knallsilber
Beim Arbeiten mit ammoniakalischen silbersalzhaltigen Lösungen ist zu beachten, dass sich nach einiger Zeit ein schwarzer Niederschlag abscheidet, der teilweise aus Knallsilber besteht und beim Berühren, Umrühren oder Schütteln heftig explodieren kann.

Zur Beachtung:
Die Liste ist nicht vollständig!

4 Chemische Apparaturen

Dieses Kapitel zeigt, wie Apparaturen zweckmäßig für einen sicheren und störungsfreien Betrieb aufgebaut werden.

Es beantwortet die folgenden Fragen:

1. **Wie geht man ohne Verletzungsgefahr mit Glasgeräten um?**
2. **Wie lassen sich festsitzende Glasverbindungen trennen?**
3. **Mit welchen technischen Hilfsmitteln können gefährliche Manipulationen an Glasgeräten umgangen werden?**
4. **Wie baut man Apparaturen zweckmäßig, standfest und bruchsicher auf?**
5. **Wie ermöglicht man flexibles Hantieren an Apparaturen während des Betriebes?**
6. **Welche Gefahren gehen von elektrisch-mechanischen Hilfsmitteln aus?**
7. **Welchen Risiken begegnet man beim Heizen und Kühlen von Apparaturen?**
8. **Welche Heiz- oder Kühlmedien sind jeweils am besten geeignet?**
9. **Welche besonderen Sicherheitsmaßnahmen sind bei Arbeiten unter vermindertem Druck zu treffen?**
10. **Wie geht man mit Druckgasflaschen um?**
11. **Wie sind Apparaturen, in die Gase eingeleitet werden, zu sichern?**
12. **Wie vermeidet man den Austritt von giftigen oder korrosiven Gasen?**

4.1 Umgang mit Laborglas

Apparaturen im chemischen Laboratorium bestehen überwiegend aus Glas. Bei allen Vorteilen, die dieses Material für das chemische Arbeiten bietet, birgt es durch seine mechanische Verletzlichkeit auch Gefahren. Verletzungen an zerborstenen Glasgefäßen mit z. T. erheblichen Schnittwunden bilden daher die Kategorie der häufigsten Laborunfälle. Oberstes Gebot beim Umgang mit Glasgeräten ist es daher, alle Glasgeräte vor der Benutzung auf Unversehrtheit zu prüfen und jegliche Gewaltanwendung zu vermeiden. Eine Grundausbildung in der Technik des Glasblasens verleiht dem Chemiker die notwendige Sicherheit im Umgang mit Glas.

Die folgenden Hinweise sollen zeigen, wie Situationen vermieden werden können, die zu Glasbruch und Verletzungen führen.

Glasbruch beim Aufsetzen und Anstoßen
Glasgeräte vorsichtig aufsetzen, nicht am Labortisch anstoßen oder auf unebenen Stellen absetzen. Punktförmig angreifende Kräfte, wie z. B. Sandkörner auf Tischen, sind für Glasgeräte gefährlich.

Glasbruch durch Verdrehen oder Biegen
Glas bricht leicht, daher immer kurz anfassen (kurzer Hebelarm). Herausragende Glasenden (T-Stücke, Krümmer an Kühlern etc.) nicht als Hebelarm beim Hantieren benutzen.

Schneiden an scharfen Kanten
Angebrochene Ränder von Glasgeräten führen zu Verletzungen an den scharfen Kanten. Solche Geräte dürfen nicht mehr verwendet werden.

Glasbruch beim Durchführen von Glasrohren, Glasstäben oder Thermometern durch die Bohrung eines Stopfens, Aufziehen von Schläuchen auf die Glasansätze von Kühlern oder Saugflaschen
Man versuche, Glasbruch durch Schmieren der Glasoberfläche mit Glycerin und nachfolgendes Einführen des Glasgegenstandes unter leichten Drehbewegungen bei möglichst kurzem Hebelarm zu vermeiden. Zusätzlich werden die Hände durch ein umgewickeltes Handtuch geschützt (siehe Bild 9). Mehr Sicherheit bieten Schraubverschluss-Durchführungen.



Bild 9

Lösen von festsitzenden Schläuchen
Solche Schläuche schneidet man ab und entfernt die Reste vorsichtig mit einem scharfen Messer vom Glas.

Lösen festsitzender Schliffverbindungen
Man erwärmt die Schliffverbindung rasch mit einem Föhn (wobei sich die Hülse schneller ausdehnt als der Kern) bis sich die Verbindung durch Drehbewegung (mit geschützten Händen!) leicht lösen lässt. Abhilfe schafft die Verwendung z. B. von Teflonhülsen oder hochfluorierten Fetten an Stelle von Schlifffett.

4.2 Aufbau von Apparaturen

Der Bruch von Apparaturen zählt zu den größten Risiken chemischen Arbeitens, insbesondere weil dadurch gefährliche Substanzen entweichen oder Brände entstehen können. Schon beim Aufbau von Apparaturen müssen daher einige wichtige Sicherheitsgrundsätze beachtet werden.

Jede Improvisation durch Verwendung ungeeigneter Apparaturteile ist zu vermeiden.

Apparaturen müssen standfest, spannungsfrei und an sicheren Standorten aufgebaut werden. Befestigt werden sie am besten mit Klammern und Muffen an fest installierten Stativgerüsten (Harfen). Müssen Einzelstative verwendet werden, so ist die Apparatur über dem Schwerpunkt, d. h. über der Bodenplatte des Stativs zu zentrieren. Wackelige Stative dürfen nicht verwendet werden.

In den Apparaturen – außer in Druckreaktoren – darf sich kein Überdruck aufbauen können; sie müssen daher einen Druckausgleich zur Außenatmosphäre besitzen.

Der Schutz des Apparaturinhaltes vor Luftfeuchtigkeit kann durch Trockenrohre erfolgen, wobei Trockenmittel benutzt werden müssen, die nicht zusammenbacken und das Trockenrohr verstopfen können (z. B. Trockenmittel auf Trägermaterialien) sowie nicht mit Chemikalien der Reaktion reagieren können (z. B. kein $CaCl_2$ beim Umgang mit Aminen).

Für das Zusammensetzen von Apparaturen gilt das vertikale Aufbauprinzip. Zunächst wird das Reaktionsgefäß (bzw. der Destillationskolben usw.) sicher befestigt. Die Positionierung richtet sich nach der Forderung, dass Heiz- und Kühlbäder ohne Veränderungen an der Apparatur entfernbar sein müssen. Weitere Apparaturteile werden durch Aufstellen auf die Kolbenschliffe hinzugefügt und dann durch Anklammern gesichert. Beim Anklammern dürfen weder Schliffverbindungen gelockert werden noch Spannungen durch Verkanten auftreten. Insbesondere Rührwellenschäfte müssen fest und sicher mit dem Reaktionsgefäß verbunden sein.

Elektrische Geräte müssen sich in technisch einwandfreiem Zustand befinden. Geräte mit Schäden an Kabeln, Steckern und Kontakten müssen ausgesondert oder durch einen Fachmann repariert werden. Insbesondere Eigenbaugeräte müssen durch einen Fachmann auf Betriebssicherheit nach den einschlägigen Vorschriften geprüft werden.

Die Funktionen von Apparaturen, wie z. B. des Kühlwassersystems, des Rührwerks, der elektrischen Antriebe, der Vakuumdichtheit, müssen vor der Beschickung mit Chemikalien überprüft werden. Schläuche müssen sicher (z. B. mit Schellen) befestigt sein.

4.3 Beheizen von Apparaturen

Chemische Reaktionen bilden ein besonderes Gefahrenpotenzial, wenn bei erhöhter Temperatur gearbeitet wird, insbesondere wenn brennbare Lösemittel erhitzt werden. Die folgenden Hinweise sollen helfen, die sich daraus ergebenden Risiken zu vermeiden.

Alle beheizten Apparaturen mit brennbarem Inhalt müssen mit Kühlern zur Rückhaltung flüchtiger, brennbarer Stoffe versehen sein.

Heizquellen müssen stets so angebracht werden, dass sie leicht und ohne Veränderung an der Apparatur entfernt werden können. Am besten sind hierzu Laborhebebühnen geeignet (siehe Bilder 10 u. 11). Apparaturen, die brennbare oder thermisch instabile Substanzen enthalten, dürfen niemals direkt mit einer offenen Flamme erhitzt werden, auch nicht über einem Drahtnetz oder Sandbad. Direktes Beheizen im Luftbad ist mit Pilzheizhauben möglich, jedoch nur zu empfehlen, wenn eine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet ist, z. B. durch Rühren.

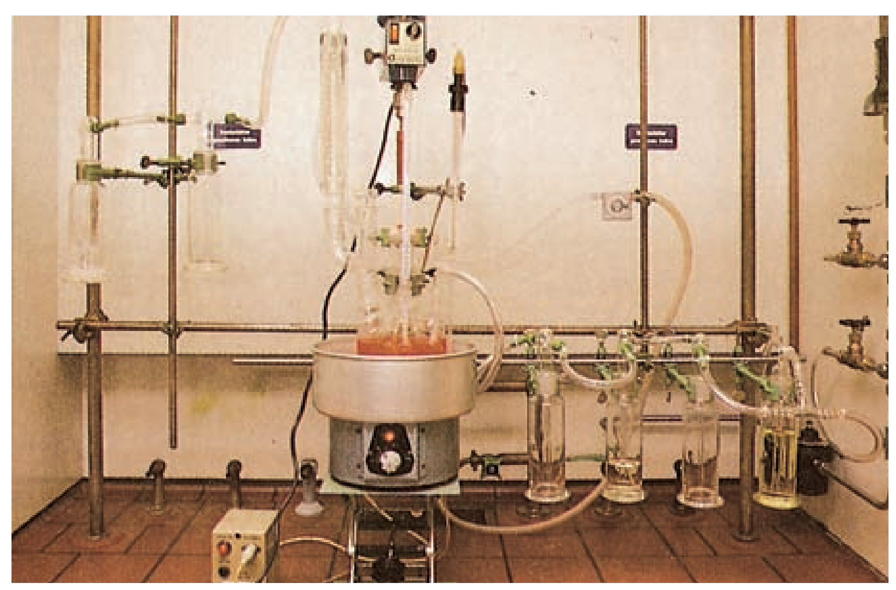


Bild 10



Bild 11

Gleichmäßiges Sieden von Flüssigkeiten muss durch Zugabe von Siedesteinchen oder kontinuierliches Rühren gewährleistet sein, da sonst mit Siedeverzügen und deren stoßartiger Aufhebung zu rechnen ist.

Die sicherste Methode des Heizens ist die Verwendung von Flüssigkeits-Heizbädern, mit denen eine Wärmeübertragung bei geringer Temperaturdifferenz möglich ist.

Heizbäder mit Gasbrennern dürfen nur für nicht brennbare Flüssigkeiten und unter ständiger Beobachtung verwendet werden. Vorzuziehen und allgemein geeignet sind stufenlos regelbare elektrische Heizplatten. Für unbeaufsichtigte Apparaturen sind selbstregelnde Systeme mit thermostatischer Kontrolle des Heizbades unerlässlich. Gegen die Folgen eines Ausfalls der Regeleinheit muss mit einem Übertemperaturschutz gesichert werden.

Wasserbäder können durch Überschichten mit einem dünnen Paraffinfilm vor Austrocknung geschützt werden. Sie dürfen nicht verwendet werden, wenn die Apparatur Alkalimetalle, deren Hydride oder andere Substanzen enthält, die mit Wasser heftig reagieren.

Heizbadflüssigkeiten haben eine maximale Betriebstemperatur, oberhalb derer Zersetzung unter Bildung gesundheitsschädlicher Dämpfe oder auch Entflammung möglich ist.

Heiße Heizbäder sind gefährlich. Sie müssen kippsicher aufgestellt werden. Eine erhebliche Volumenausdehnung der Badflüssigkeit beim Erhitzen ist beim Aufbau zu berücksichtigen.

Das Eindringen von Wasser kann zu heftigem Verspritzen der heißen Badflüssigkeit führen. Kühlwasseranschlüsse oberhalb von Ölbädern müssen deshalb auf Dichtheit geprüft werden. Das Herabtropfen von Kondenswasser muss durch Anbringen einer Papiermanschette verhindert werden.

Beheizen mit Heißluftgebläse
Beim Ausheizen von Apparaturen ist darauf zu achten, dass sich keine brennbaren Flüssigkeiten im Gefahrenbereich befinden. Das Heißluftgebläse darf nur an sicherer Stelle außerhalb des Abzugs abgestellt werden.

4.4 Kühlen

Zum Kühlen verwendet man Eis, Eis / Salz-Mischungen (Natriumchlorid bis ca. − 21 °C, Calciumchlorid bis ca. − 55 °C), Lösemittel / Trockeneis-Mischungen (bis − 78 °C) oder flüssigen Stickstoff (− 196 °C). Die als Isoliergefäße häufig verwendeten Dewargefäße sind innen verspiegelte, evakuierte Hohlglaskörper und somit implosionsgefährdet. Es dürfen nur mit einem Schutzmantel versehene Gefäße verwendet werden; mechanische Beanspruchung (Eintauchtiefe beachten!) ist zu vermeiden. Heute sind auch hoch isolierte Metalldewargefäße im Handel erhältlich, bei denen keine Implosionsgefahr besteht. Dewarge-

fäße lassen sich oft durch bruchsichere Gefäße aus geschäumtem Kunststoff ersetzen.

Für Trockeneiskühlung benutzt man häufig brennbare organische Lösemittel als Übertragungsmedien. Auf die damit verbundene Brandgefahr ist zu achten, offene Flammen sind fern zu halten. Als Medien werden häufig Aceton oder Methanol angegeben. Zu empfehlen ist aber Isopropanol, dessen Vorteile in der geringen Toxizität und in seiner hohen Viskosität liegen, das ein Überspritzen bei Trockeneiszugabe verhindert.

Für Tiefkühlzwecke wird flüssiger Stickstoff (Sdp. −196 °C) verwendet. Bei längerem Stehen kann aus der Luft Sauerstoff (Sdp. −183 °C) einkondensieren, erkennbar an der blauen Farbe. Solche Mischungen dürfen wegen der starken Oxidationswirkung des flüssigen Sauerstoffs nicht mehr verwendet werden. Sie sollten durch Verdampfen, z. B. Ausgießen im Freien, vernichtet werden.

4.5 Spezielle Hinweise

Rührer und Zentrifugen

In sich bewegende Anlagen darf man niemals hineingreifen. Rührer oder Zentrifugen müssen langsam Stufe um Stufe hinauf- oder heruntergeschaltet werden. Bei ungewohnten Geräuschen sofort abschalten und nachsehen.

Sandbäder

Als Füllung geeignet ist geglühter See- oder Flusssand. Verunreinigter Sand ist sofort zu erneuern. Sandbäder dürfen nur verwendet werden, wenn die bei ihnen insbesondere beim Nachheizen auftretende ungleichmäßige Temperaturverteilung zu keiner Gefährdung führt.

Apparate zur Schmelzpunktbestimmung

Diese Apparate dürfen nicht mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt werden. Als Badflüssigkeiten eignen sich z. B. Silikonöle. Zu empfehlen sind Metallblock- oder elektrisch beheizte Flüssigkeits-Schmelzpunktbestimmungsapparate.

Trockenschränke

Produkte, die beim Trocknen brennbare Gase oder Dämpfe abgeben können, dürfen nicht in Trockenschränken ohne Explosionsschutz getrocknet werden.

Kühlschränke

Brennbare Flüssigkeiten dürfen nur in Kühlschränken aufbewahrt werden, deren Innenraum explosionsgeschützt ist (siehe dazu Bild 12).

Es ist darauf zu achten, dass die Gefäße aufrecht und gegen Umfallen gesichert aufgestellt werden; Stopfen, Schliffküken und dergleichen sind zu sichern.

4.6 Besondere Arbeitsmethoden

4.6.1 Arbeiten unter vermindertem Druck

In chemischen Laboratorien wird häufig unter vermindertem Druck gearbeitet. Typische Beispiele sind Destillation oder Sublimation im Vakuum, Absaugen von

Niederschlägen, Trocknen. Die verwendeten Apparaturen müssen dabei einer erheblichen Belastung durch den Außendruck standhalten.

Bei angelegtem Vakuum entspricht die Druckbelastung fast unabhängig von der verwendeten Pumpe rund 1000 hPa (= 100.000 Pascal = 100.000 N / m² Glasoberfläche.

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass das Arbeiten unter „Wasserstrahlvakuum“ im Vergleich mit „Hochvakuumarbeiten“ harmlos sei. In der Tat unterscheiden sich die Druckbelastungen nur um 10–20 hPa (1.000-2.000 Pascal). Selbst beim Absaugen von Niederschlägen werden in der Saugflasche noch Belastungen von 300–800 hPa (30.000-80.000 Pascal) erreicht. Ein Belastungsbruch unter vermindertem Druck führt zur Implosion, wobei die umherfliegenden Glassplitter schwere Verletzungen verursachen können. Es versteht sich deshalb von selbst, dass „Vakuumarbeiten“ in Glasgeräten mit besonderer Vorsicht und unter Beachtung der Sicherheitsregeln durchgeführt werden müssen.

Bei Arbeiten mit vermindertem Druck ist für ausreichenden Schutz zu sorgen. Der Unterdruck ist nach Möglichkeit auf das experimentell notwendige Maß zu begrenzen. Unterdruckregelung wird empfohlen.

Es dürfen nur Glasgeräte mit unbeschädigter Oberfläche verwendet werden



Bild 12: Folge der Verwendung eines **nicht** explosionsgeschützten Kühlschranks



Bild 13

(Sichtkontrolle!). Zusätzliche Belastungen durch Spannung infolge verkanteter Befestigung von Apparaturen sind auszuschließen. Evakuierte Apparaturteile dürfen nicht einseitig erhitzt werden.

Für Arbeiten unter vermindertem Druck dürfen nur Glasgeräte mit gewölbter Oberfläche verwendet werden (z. B. Rundkolben), keinesfalls also Erlenmeyerkolben oder sonstige Gefäße mit flachem Boden. Hiervon abweichend dürfen dickwandige Glasgeräte benutzt werden, die eigens für „Vakuumarbeiten" hergestellt sind (Saugflaschen, Exsikkatoren). Diese dürfen keinesfalls einseitig erhitzt werden!

Beim Absaugen ist auf guten Sitz der Gummimanschetten zwischen Absaugtrichter (Nutsche) und Saugflasche zu achten; plötzliches Durchrutschen des Trichters kann zum Bruch der Saugflasche führen.

Betrieb und Aufbewahrung evakuierter Apparaturen dürfen nur an Orten erfolgen, die gegen unbeabsichtigtes Anstoßen oder Darauffallen von Gegenständen geschützt sind. Wirksamer Splitterschutz für den Fall von Implosionen ist die Verwendung von Schutzschildern oder die Sicherung in Drahtkörben, insbesondere bei großvolumigen Vakuumapparaturen. Exsikkatoren und Dewargefäße können durch Bekleben der Oberfläche mit Klarsichtfolie gesichert werden, siehe Bild 13). Kunststoffbeschichtete Geräte sind auch im Handel erhältlich.

4.6.2 Arbeiten mit Gasen

Gase werden oft als Reaktanden oder Schutzgas in chemischen Reaktionen eingesetzt oder können bei chemischen Reaktionen entstehen. Sie finden auch als Hilfsmittel bei einigen analytischen Verfahren Anwendung. Der Umgang mit Gasen ist stets problematisch: Gase diffundieren sehr rasch in die Laboratmosphäre. Brennbare Gase bilden dann leicht zündfähige Gemische, giftige Gase gefährden Personen bereits in geringen Konzentrationen. Besondere Gefahren ergeben sich beim Arbeiten mit Gasen unter Druck.

4.6.3 Druckgasflaschen

Allgemeines
Die meisten Gase werden in verdichteter Form (verflüssigt oder unter hohem Druck) in Druckgasflaschen angeboten. Druckgasflaschen stellen ein Gefahrenpotenzial an sich dar, denn sie können bei grob unsachgemäßer Behandlung (Umstürzen, starke Hitzeeinwirkung) bersten. Daraus ergeben sich einige unbedingt einzuhaltende Sicherheitsvorschriften.

Druckgasflaschen sollten nach Möglichkeit überhaupt nicht im Labor aufgestellt werden, da sie bei Bränden ein erhöhtes Risiko für das Löschpersonal darstellen. Die sicherste Möglichkeit ist die Versorgung des Labors durch eine Druckleitung von den außerhalb stehenden Druckgasflaschen. Eine wirksame Maßnahme ist auch die Unterbringung der Druckgasflaschen in wärmeisolierten belüfteten Schränken



Bild 14

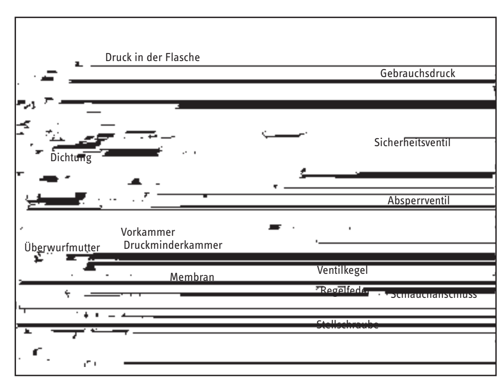


Bild 15: Schema eines Druckminderers

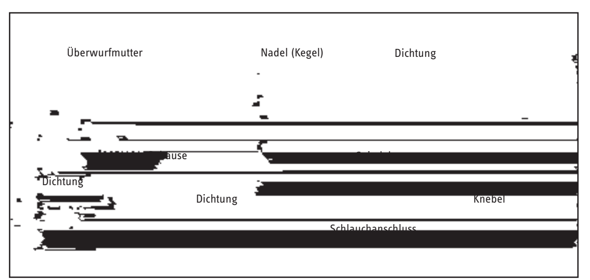


Bild 16: Schema eines Nadelventils

nahe am Arbeitsplatz im Labor. Sind diese Möglichkeiten nicht gegeben, dann dürfen Druckgasflaschen nur zum Gebrauch am Arbeitsplatz stehen und müssen unmittelbar danach in den dafür vorgesehenen sicheren Lagerraum gebracht werden.

Wird die Flasche nicht benutzt, muss das Flaschenventil durch Aufschrauben der Schutzkappe gesichert werden.

Toxische oder korrosive Gase sollen im Labor nur in kleinen Druckgasflaschen verwendet werden, die unmittelbar im Abzug aufgestellt werden können.

Betrieb und Gasentnahme
Druckgasflaschen besitzen hinter dem Flaschenventil einen Gewindeanschluss zum Anbringen des Entnahmeventils. Soweit möglich, müssen hier Druckminderer verwendet werden (siehe Bilder 14 und 15). Nadelventile sind keine Druckminderer, sondern nur Strömungsbegrenzer (siehe Bild 16). Aus diesem Grund sollten sie nur in den Fällen zum Einsatz kommen, in denen keine Druckminderer erhältlich sind (z. B. bei manchen verflüssigten Gasen). Es dürfen nur für die betreffende Gasart zugelassene Entnahmeventile verwendet werden. Die Montage der Ventile darf nur von unterwiesenen Personen vorgenommen werden. Bei stark oxidierenden Gasen müssen die Armaturen frei von Öl, Fett und Glycerin gehalten werden.

Zur Entnahme von Gas wird zunächst bei geschlossenem Entnahmeventil das Hauptventil geöffnet. Sollte sich das Hauptventil nicht von Hand öffnen lassen, darf die



Bild 17: Druckgasflaschen müssen sowohl beim Transport auf den dafür vorgesehenen Wagen als auch am Standort durch Anketten gegen Umfallen gesichert werden.

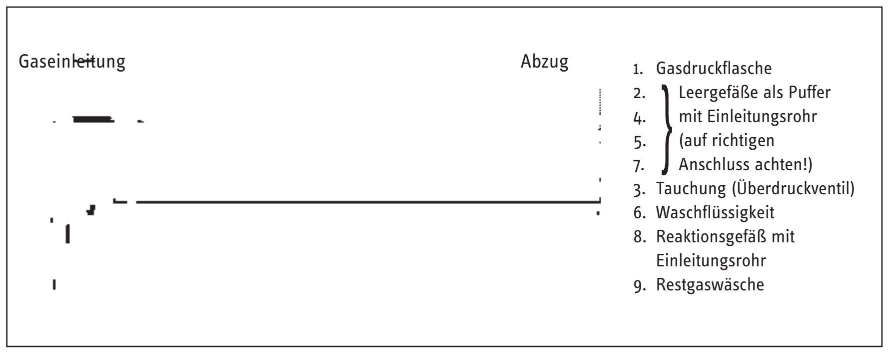


Bild 18

Druckgasflasche nicht benutzt werden und ist dem Fachpersonal zurückzugeben. Umgekehrt ist das Anziehen des Hauptventils mit Werkzeugen verboten. (Nicht gängige Hauptventile werden vor allem bei korrosiven Gasen beobachtet, gerade hier führt unsachgemäßes Manipulieren immer wieder zu gefährlichen Situationen.) Schließlich wird zur Entnahme das Feinventil (ggf. zuvor das Druckmindererventil) vorsichtig geöffnet und der gewünschte Gasstrom eingestellt.

Nadelventile für korrosive Gase müssen nach Beendigung jedes Versuchs sofort mittels Durchspülen und Ausblasen gereinigt werden, da sonst die Gefahr von Fehlfunktionen bei der nächsten Benutzung besteht.

Entleerte Flaschen sollen noch einen geringen Restdruck aufweisen. Sie müssen eindeutig als entleert gekennzeichnet werden.

Einleiten von Gasen

Gase werden in Reaktionsapparaturen über mit Schlauchschellen gesicherte Schläuche eingeleitet, welche gegenüber dem verwendeten Gas beständig sind (siehe hierzu Bild 18). Universell geeignet sind Silikonschläuche. Gase dürfen in Apparaturen nur eingeleitet werden, wenn sichergestellt ist, dass sich in der Apparatur kein unzulässiger Überdruck aufbauen kann. Bewährt hat sich eine Sicherheitstauchung, mit der außerdem ein Zurücksteigen des Reaktionsgemisches zur Druckgasflasche, insbesondere aber auch eine Vermischung mit Trockenflüssigkeiten (z. B. konzentrierte Schwefelsäure) vermieden werden kann.

Wenn beim Einleiten feste Reaktionsprodukte gebildet werden, besteht die Gefahr des Verstopfens des Einleitungsrohres und eines unkontrollierten Druckaufbaus im Einleitungssystem. Solche Reaktionen bedürfen der ständigen Beobachtung. Es gibt spezielle Einleitungssysteme, welche die

mechanische Entfernung von Feststoffen aus dem Einleitungsrohr ohne Öffnen der Apparatur erlauben.

Alle Gaseinleitungsapparaturen müssen eine drucklose Austrittsöffnung mit Gasableitungsschlauch unmittelbar in den Abzugskanal besitzen. Ein zwischengeschalteter Blasenzähler erlaubt zusätzlich die Kontrolle der Gasabsorption in der Reaktion.

Das Entweichen größerer Mengen nicht umgesetzter toxischer oder ätzender Gase in das Abzugssystem ist zu verhindern. Dies geschieht durch Absorption der Gase in geeigneten Reaktionsmedien (z. B. Phosgen in verdünnter Natronlauge).

Solche Zusatzapparaturen haben den Charakter von Reaktionsapparaturen und müssen daher den gleichen Sicherheitsüberlegungen entsprechen, wie bisher beschrieben. So muss z. B. der Gehalt der Absorptionslösung der erwarteten Gasmenge entsprechen, bei exothermen Reaktionen für Kühlung gesorgt werden und beachtet werden, dass die Löslichkeit gebildeter Feststoffe nicht überschritten wird.

4.6.4 Arbeiten mit erhöhtem Druck (Überdruck)

Reaktionen unter erhöhtem Druck dürfen nur in geeigneten und dafür zugelassenen Druckbehältern (z. B. Laborautoklaven, siehe Bild 19a) durchgeführt werden.

Die Druckbehälter müssen gemäß den Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung und den einschlägigen technischen Regeln ausgelegt, ausgerüstet, aufgestellt und betrieben werden.

Mit Druckbehältern dürfen Studierende nach Einweisung und unter Aufsicht des zuständigen Assistenten arbeiten. In Druckbehältern für Versuchszwecke, bei denen die zu erwartenden Drücke sicher bekannt sind, dürfen bekannte Reaktionen bei vorher festgelegtem maximalen Füllgrad durchgeführt werden, wenn hierbei der zulässige Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur nicht überschritten werden. Zweckmäßig erfolgt vor jeder Inbetriebnahme eines Druckbehälters die Funktionsprüfung der Messeinrichtungen für Druck und Temperatur und die Prüfung



Bild 19a: Handautoklav mit Heizrührer

auf Dichtheit. Sowohl die Befüllung als auch die Entleerung der Druckbehälter dürfen nur in Abzügen oder unter lokaler Absaugung erfolgen. Druckbehälter dürfen erst geöffnet werden, wenn ein Druckausgleich mit der Atmosphäre hergestellt wurde.

Für Druckreaktionen, bei denen die zu erwartenden Drücke und Temperaturen **nicht** sicher bekannt sind, müssen so genannte **Versuchsautoklaven** verwendet werden. Zum Schutz von Personen, insbesondere beim Versagen des Autoklaven, müssen die Versuchsautoklaven in eigenen Räumen (Autoklavenräumen) aufgestellt sein. Die Beobachtung der Mess- und Sicherheitseinrichtungen und deren Bedienung müssen von sicherer Stelle aus erfolgen. Beim Betrieb von Versuchsautoklaven müssen Druck und Temperatur laufend beobachtet und aufgeschrieben werden.

Besteht die Gefahr, dass die zulässige Betriebstemperatur oder der zulässige Betriebsdruck überschritten werden könnte, ist der Reaktionsversuch sofort zu unterbrechen (Heizung aus, ggf. Notkühlung). Nach jeder Verwendung, ggf. nach Abschluss einer Versuchsreihe, muss der Versuchsautoklav von einer befähigten Person geprüft werden. Werden hierbei Schäden festgestellt oder wurde der zulässige Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur überschritten, muss der Versuchsautoklav auf weitere Verwendbarkeit durch eine zugelassene Überwachungsstelle (z. B. TÜV) geprüft werden.

Glasautoklaven dürfen grundsätzlich nur in normgerechten Abzügen oder vorzugsweise in einem gesonderten Autoklavenraum betrieben werden. Der Glasautoklav **muss** von einem Drahtkorb als Splitterschutz umgeben sein (siehe Bild 19b).

Wegen der hohen Gefährdung durch Glasautoklaven sind von den Studierenden möglichst Metallautoklaven zu verwenden.

4.6.5 Arbeiten mit Einschmelzrohren

Eine Sonderform von Druckbehältern stellen Einschmelzrohre (abgeschmolzene, dickwandige Glasrohre, auch Einschluss- oder Bombenrohre genannt) dar. Sie können mit vermindertem („Vakuum“) oder erhöhtem Innendruck betrieben werden.



Bild 19b: Glasautoklav mit Drahtkorb t

Bei Beschädigung oder bei ungenügender Qualität des Glases droht bei vermindertem Druck eine Implosion, bei Überdruckrohren muss mit Explosionen gerechnet werden. In beiden Fällen kann es zur Zerstörung des Rohrs kommen, wenn darin durchgeführte Reaktionen „durchgehen". Bei Reaktionen im Einschmelzrohr kann nur die Außentemperatur direkt kontrolliert werden, die anderen Parameter können allenfalls berechnet werden. Einschmelzrohre sind keine „zugelassenen Druckbehälter" (siehe Ziffer 4.6.4). Wegen der damit verbundenen Gefahren dürfen sie deshalb nur dann eingesetzt werden, wenn sie nicht durch andere, weniger gefährliche Apparaturen ersetzt werden können, z. B. wenn Transportreaktionen durchgeführt und beobachtet werden sollen.

Einschmelzrohre aus dickwandigem (1 bis 3 mm), chemisch und thermisch besonders widerstandsfähigem Spezialglas können bis etwa 30 bar und 400 °C betrieben werden. Wasser greift Glas allerdings ab 300 °C stark an. Besonders wichtig ist, dass die Rohre spannungsfrei abgeschmolzen werden und die der Flamme ausgesetzten Rohrbereiche nicht mit den eingefüllten Chemikalien benetzt sind (Einfülltrichter beim Beschicken verwenden, sorgfältige Handhabung, eventuell Einfrieren des Inhalts vor dem Abschmelzen).

Befüllen und Öffnen der Rohre müssen so durchgeführt werden, dass Personen nicht durch enthaltene Gefahrstoffe gesundheitlich beeinträchtigt werden, d. h. im Abzug!

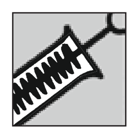
Die wichtigste Schutzmaßnahme ist ein wirksamer Splitterschutz (z. B. Überrohre aus Stahl, Umwickeln mit Splitterfangmaterial, Schutzwände, ggf. eigener Raum). Einschmelzrohre dürfen nur geöffnet werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich ein eventueller Überdruck (durch Abkühlen) abgebaut hat (Rechnung!). Aber auch dann ist an Splitterschutz, insbesondere der Hände, zu achten! Die entstehende Öffnung muss vom Körper abgewandt sein.

Mit Einschmelzrohren dürfen Studierende nur nach einer praktischen Einweisung und unter ständiger Aufsicht durch den zuständigen Assistenten arbeiten. Das Abschmelzen der Einschmelzrohre sollte durch einen Glasbläser erfolgen.

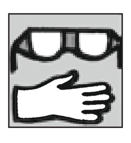
5 Reinigen und Entsorgen

5.1 Reinigen von Glasgeräten

Beim Reinigen von Glasgefäßen besteht die Gefahr der Kontamination mit mehr oder weniger unbekannten Substanzen, z. B. solchen, die als Nebenprodukte bei einer Synthese entstanden sind. Sicher und zweckmäßig spült man wie folgt:



Verschmutzte Gefäße, Gegenstände oder Laboratoriumseinrichtungen sofort säubern. Substanzreste nie in Gefäßen stehen lassen.

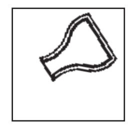


Beim Reinigen Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen. Vorsicht vor Glasbruch und Schnittverletzungen bei der mechanischen Reinigung. Schliffschmiermittel mit einem Papiertuch, evtl. mit Hilfe von Ligroin, entfernen.



Chemikalienreste in den Gefäßen mit geeigneten, möglichst wenig toxischen Lösemitteln (z. B. Aceton, Ethanol, Ligroin) ausspülen. Die Spülflüssigkeit ist als Sonderabfall zu entsorgen.

Lösemittelvorräte am Spültisch sollten zur Vermeidung von Bruchgefahr in Spritzflaschen aus Kunststoff aufbewahrt werden.



Mit Lösemitteln gespülte Geräte dürfen nicht zum Trocknen in den Trockenschrank gelegt werden.

Stark reagierende Reinigungsmittel (z. B. konzentrierte Salpetersäure, konzentrierte Schwefelsäure) dürfen nur dann verwendet werden, wenn andere Reinigungsmittel sich als ungeeignet erwiesen haben.

Chromschwefelsäure darf nur in begründeten Ausnahmefällen angewandt werden (Entsorgung siehe Abschnitt 5.2). Vor der Verwendung ist festzustellen, ob der Restinhalt der Gefäße mit dem Reinigungsmittel zu gefährlichen Reaktionen führen kann.

In vielen Fällen sind die oben genannten Reinigungsmittel durch handelsübliche Spezialdetergentien ersetzbar.

Erst nach den geschilderten Vorreinigungen wird das Reinigen mit handelsüblichen Detergentien abgeschlossen.

5.2 Entsorgung von Laborabfällen



Alle Abfälle müssen entsorgt werden. Die Entsorgung regelt das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, kurz Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.

Alle von der Entsorgung durch die Kommune ausgenommenen Abfälle müssen vom Besitzer einer ordnungsgemäßen Beseitigung zugeführt werden; dabei muss nach der Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise, z. B. für die chemischen Sonderabfälle, ein Nachweisverfahren durchgeführt werden.

Jedem, der mit Chemikalien umgeht, sollte die Verpflichtung zur Entsorgung auch ohne Gesetze selbstverständlich sein, da von einer falschen Handhabung Schäden für Personen, Sachen und Umwelt ausgehen können.

Entsorgen heißt nicht nur, Laborabfälle zu sammeln und gemäß interner Richtlinien einer gemeinsamen Entsorgung zuzuführen, es heißt auch, Emissionen zu vermeiden und verschiedene, kleine Abfallmengen selbst durch geeignete chemische Reaktionen in ungefährliche Verbindungen zu überführen. Dieses Kapitel kann nur in kurzer Form einige Hinweise zur praktischen Entsorgung im Labor geben und damit anregen, sich in jedem Einzelfall vor Beginn der Arbeiten auch mit der zugehörigen Entsorgung zu beschäftigen.

Generell zu entsorgen sind organische Lösemittelabfälle. Bei ihrer Sammlung ist zu berücksichtigen, dass nur bis max. 5 l in Glasgefäßen und bis max. 10 l in bruchsicheren Gefäßen gesammelt werden dürfen. Bei Gefäßen über 5 l Nennvolumen müssen diese elektrostatisch ableitfähig sein und beim Umfüllen geerdet werden. Vor dem Einschütten von Abfällen in den Sammelbehälter sollte eine Mischprobe im Reagenzglas durchgeführt werden.

Schwermetallsalze und ihre Lösungen müssen in gesonderten Behältern gesammelt werden.

Altquecksilber sollte getrennt gesammelt und einer Aufarbeitung zugeführt werden.

Eine gesonderte Gruppe bilden Filter- und Aufsaugmassen. Hierzu gehören auch Chromatographieplatten und Füllungen von Chromatographiesäulen. Sie werden getrennt gesammelt und entsorgt.

Feinchemikalienreste werden in den Originalflaschen zur Entsorgung gegeben.

Altöl aus Vakuumpumpen und Heizbädern, das durch Laborarbeiten verunreinigt ist, muss nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz als stark verunreinigtes Altöl als Sonderabfall zur Entsorgung gegeben werden.

Wenn trotz der heute vorhandenen guten Detergenzien in einigen Fällen noch Chromschwefelsäure benutzt werden muss, so ist diese in getrennten Behältern zu sammeln und zur Entsorgung zu geben.

Entsorgungsmaßnahmen, bei denen gesundheitsgefährdende Gase entstehen, sind im Abzug durchzuführen.

5.3 Kleinstmengenbeseitigung

Bei Abfällen im Kleinstmengenbereich ist häufig eine Entgiftung durch das Laborpersonal angeraten oder notwendig.

Die Kleinstmengenbeseitigung setzt einwandfrei funktionierende Abzüge voraus; sie darf nur von Personen mit entsprechender Fachkunde unter Beachtung der jeweils erforderlichen Schutzmaßnahmen vorgenommen werden.

Die Arbeitsvorschriften sind sorgfältig auszuarbeiten und die ausführenden Personen (insbesondere auch Studierende bei Mitwirkung!) sind eingehend zu unterweisen.

Die aufgeführten Arbeitsvorschriften sind sorgfältig recherchiert; der Anwender ist jedoch gehalten, im Einzelfall und bezogen auf sein Produkt die Einsatzmöglichkeiten zu prüfen und ggf. zu modifizieren.

Alkalimetalle
Alkalimetalle werden in einen entsprechenden Alkohol (Ethanol für Natrium, Isopropanol für Kalium), der in einem inerten Lösemittel (z. B. Petrolether 40 / 60) vorgelegt wird, unter Rühren eingetragen. Die dazu verwendete Apparatur besteht aus einem Mehrhalskolben, einem Dimrothkühler mit Metallkühlschlange und einem Magnet- oder KPG-Rührer. Der entstehende Wasserstoff wird über einen am Kühlerausgang angeschlossenen Schlauch direkt in den Abzugskanal abgeleitet. Die Alkoholatlösung wird hydrolysiert, neutralisiert und anschließend als Lösemittel entsorgt.

Befindet sich Natrium in Drahtform nach der Trocknung eines halogenfreien Lösemittels, z. B. Diethylether, Cyclohexan, Toluol, im Kolben, so wird der Alkohol langsam zu dem im Kolben verbliebenen Rest des Lösemittels zugetropft.

Vor der Hydrolisierung des Alkoholats werden einige Milliliter einer Mischung aus 1 Teil Wasser und 4 Teilen Alkohol zur Erhöhung der Protonenaktivität zugetropft, um Restspuren des Alkalimetalls zu erfassen.

Brom
Elementares Brom sollte primär zur Aufarbeitung gegeben werden. Kleinere Mengen können mit wässriger Natriumthiosulfatlösung zum Bromid reduziert werden.

Hydride
In einem Dreihalskolben mit Rührer und Dimrothkühler mit Metallkühlschlange werden Alkaliborhydride mit Ethanol, Alkalihydride und Alkaliamide mit Isopropanol aus einem Tropftrichter versetzt. Der entstehende Wasserstoff wird über einen am Kühlerausgang angeschlossenen Schlauch direkt in den Abzugskanal abgeleitet.

Beim Umgang mit Lithiumaluminiumhydrid haben sich eine Reihe von Unfällen und Bränden ereignet. Die folgende Beseitigungsmethode ist vielfach erprobt und beinhaltet ein hohes Maß an Sicherheit.

In einem Dreihalskolben mit Rührer, Dimrothkühler mit Metallkühlschlange und Tropftrichter mit Druckausgleich wird unter Schutzgas (Argon oder Stickstoff) das Lithiumaluminiumhydrid mit Essigester oder Aceton umgesetzt. Die beiden Reagenzien, die in der Reaktion in Ethanol bzw. Isopropanol umgewandelt werden, vermeiden eine Wasserstoffbildung. Die Reagenzlösung sollte aus 1 Teil Reagenz und 4 Teilen Ether bestehen; sie sollte die Kolbenwand beim Zutropfen nicht berühren, um die Bildung von Nestern mit ein-

geschlossenem, nicht umgesetzten Lithiumaluminiumhydrid zu vermeiden.

Jod
Die Entsorgung von elementarem Jod erfolgt analog wie beim Brom durch Reduktion mit wässriger Natriumthiosulfatlösung.

Phosphor, weiß
Weißer Phosphor wird in einem Mehrhalskolben unter Inertgas vorgelegt. Im anschließend darüber geleiteten Luftstrom verbrennt der Phosphor. Die Oxide werden in einer wässrigen, alkalischen Vorlage neutralisiert.

Schwefelsäure, rauchend (Oleum)
Die rauchende Schwefelsäure wird unter Kühlung langsam in eine 50 %ige Schwefelsäure getropft. Die Entsorgung erfolgt dann unter der Abfallart „Anorganische Säuren, Säuregemische, Beizen (sauer)".

Säurechloride, Säureanhydride
Die Verbindungen (z. B. Thionylchlorid – $SOCl_2$, Phosphorpentachlorid – PCl_5, Phosphoroxychlorid – $POCl_3$, Chlorsulfonsäure – $ClSO_3H$, Acetanhydrid) werden unter guter Kühlung mit Eis in eine 10 %ige Natronlauge eingetragen. Die Entsorgung erfolgt entsprechend den entstandenen Produkten.

Saure Reaktionsgase
(z. B. Bromwasserstoff, Chlor, Chlorwasserstoff, Jodwasserstoff, Phosgen, Schwefeldioxid) werden über eine grobe Fritte, möglichst unter Rühren, in eine 20 %ige Natronlaugelösung eingeleitet.

Raney-Nickel
wird in wässriger Aufschlämmung unter Rühren mit Salzsäure versetzt. Die schwermetallsalzhaltige Lösung wird als „Spül- und Waschwasser, metallsalzhaltig" entsorgt. Raney-Nickel und Filterpapiere mit Rückständen dürfen auf keinen Fall trocken werden, da dies zur Selbstentzündung an der Luft führt!

Dimethyl- und Diethylsulfat
sind starke Alkylierungsreagenzien. Der Umgang mit ihnen muss unter dem Abzug stattfinden; bei der Arbeit sind Schutzhandschuhe zu tragen, damit die Haut vor eventuellen Spritzern geschützt ist. Die Beseitigung erfolgt durch Eintropfen der Reagenzien in eine gerührte, konzentrierte, eisgekühlte Ammoniaklösung.

Cyanide (z. B. Natriumcyanid, Kaliumcyanid, Blausäure)
Alle Cyanide können in wässriger Lösung bei einem pH-Wert von 10 – 11 mit einem Überschuss an Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zum entsprechenden Cyanat oxidiert werden; bei pH 8 – 9 wird das Cyanat mit weiterem Wasserstoffperoxid zu Kohlendioxid und Stickstoff oxidiert.

Organische Lithiumverbindungen (n-Butyl-, tert-Butyllithium)
Die Zerstörung dieser sauerstoffempfindlichen Lithiumverbindungen erfolgt unter Schutzgas (Argon, Stickstoff) durch langsame Zugabe von Isopropanol. Das Isopropanolat wird mit Wasser hydrolysiert, die Lösung wird als „Lösemittelgemisch ohne halogenierte organische Lösemittel" entsorgt.

Sicapent®

Das Trockenmittel Sicapent® über Wasser in einen Exsikkator stellen, damit es vollständig Wasser aufnehmen kann. Das nasse Sicapent in Wasser eintragen und mit Natronlauge neutralisieren. Das Trägermaterial abfiltrieren und mit Filter entsorgen. Die wässrige Lösung ins Abwasser geben.

6 Brand- und Explosionsgefahren

Dieses Kapitel zeigt, wie man Brände und Explosionen vermeidet, die bei chemischen Arbeiten entstehen können. Es beantwortet die folgenden Fragen:

1. **Wie arbeitet man mit brennbaren Flüssigkeiten und wie sind deren Gefahrklassen definiert?**
2. **Was sind die am häufigsten im Labor benützten selbstentzündlichen Stoffe und wie geht man mit ihnen um?**
3. **Was sind explosionsgefährliche Substanzen und Gemische und bei welchen Substanzklassen und Mischungen muss man Explosionsgefährlichkeit unterstellen?**
4. **Was muss bei exothermen Reaktionen beachtet werden?**
5. **Welche Gefahren drohen durch Zersetzungsreaktionen und bei welchen Substanzklassen muss man von der Möglichkeit solcher Reaktionen ausgehen?**
6. **Welche Brandschutzvorrichtungen müssen vorhanden sein und was muss man bei ihrer Benutzung beachten?**

6.1 Brennbare Flüssigkeiten

Viele Flüssigkeiten, mit denen im Laboratorium umgegangen wird, sind brennbar. Ihre Dämpfe bilden mit Luft in bestimmten Konzentrationsbereichen, die Tabellen entnommen werden können, explosionsfähige Gemische.

Die Brennbarkeit muss beachtet werden bei chemischen Umsetzungen, beim Destillieren, Extrahieren und beim Lagern, vor allem aber beim offenen Umgang. Dabei ist zu beachten, dass die Dichte der Gase und Dämpfe so gut wie immer größer ist als die der Luft.

Die Dämpfe „kriechen“ daher auf den Arbeitstischen oder am Boden und können sich an ganz unvermuteter Stelle entzünden.

Beim Abfüllen und Umgießen brennbarer Flüssigkeiten besteht die Gefahr der Zündung durch elektrostatische Aufladung. Metallgebinde müssen daher geerdet werden.

Beim Verschütten oder Austreten schon relativ kleiner Mengen brennbarer Flüssigkeiten sind zuerst alle offenen Flammen in der Umgebung zu löschen.

Handelt es sich um größere Mengen, müssen die Laborkollegen gewarnt und zum Verlassen des Raumes aufgefordert werden. Sollte es zu einem Brand gekommen sein, darf mit der Beseitigung der ausgetretenen Substanz erst nach dem Löschen

aller Flammen sowie nach ausreichender Durchlüftung begonnen werden.

Brennbare Flüssigkeiten dürfen am Arbeitsplatz nur in der unbedingt für normales Arbeiten erforderlichen Menge aufbewahrt werden.

Es ist zu bedenken, dass voll gestopfte Regale die Gefahr des versehentlichen Herunterreißens von Flaschen in sich bergen.

Aufbewahrung
Die Gefahrstoffverordnung teilt brennbare Flüssigkeiten im Wesentlichen nach dem Flammpunkt und teilweise nach dem Siedepunkt ein:

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der die Flüssigkeit unter bestimmten Versuchsbedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickelt, dass diese im Gemisch mit Luft durch eine Zündquelle zur Entzündung gebracht werden können.

Nur brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C weisen also in der Kennzeichnung das Flammensymbol auf. Manche enthalten keinerlei Hinweis auf ihre brennbaren Eigenschaften, also weder Flammensymbol noch Gefahrenhinweis (R-Satz)! Die Dämpfe aller brennbaren Flüssigkeiten lassen sich aber entzünden, wenn die Flüssigkeit über ihren Flammpunkt erhitzt wird (Butan-2-ol über 24 °C, überhitzte Ölbäder).

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C (hoch- und leichtentzündliche Flüssigkeiten; früher: Flüssigkeiten der Gefahrklassen AI, AII und B) dürfen an Arbeitsplätzen für den Handgebrauch nur in Gefäßen von höchstens 1 l Nennvolumen aufbewahrt werden. Die Anzahl solcher Gefäße ist auf das unbedingt nötige Maß zu beschränken.

Für Laboratorien, in denen ständig größere Mengen brennbarer Flüssigkeiten für den Fortgang der Arbeiten benötigt werden, ist das Abstellen in nicht bruchsicheren Behältern bis zu insgesamt 5 l bzw. in bruchsicheren Behältern bis zu insgesamt 10 l Fassungsvermögen an geschützter Stelle zulässig.

Gefahren-bezeichnung	R-Satz	Gefahren-symbol	Flammpunkt	Siede-punkt	Beispiel
Hochentzündlich	R 12	F+	< 0 °C	≤ 35 °C	Acetaldehyd
Leichtentzündlich	R 11	F	< 21 °C		Aceton
Entzündlich	R 10	kein	21 °C ≤ FP ≤ 55 °C		Butan-2-ol
keine	kein	kein	(21°C*) 55 °C < FP		cis-Decaline

(*) In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine Zubereitung mit einem Flammpunkt von mindestens 21 °C und höchstens 55 °C nicht als entzündlich eingestuft werden muss, wenn sie in keiner Weise die Verbrennung unterhält und beim Umgang mit dieser Zubereitung eine Gefährdung für jedermann ausgeschlossen werden kann. Darunter fallen z. B. manche wässrigen Alkoholgemische, die als Desinfektionsmittel dienen.

Es empfiehlt sich, dafür mit einer Absaugung und Auffangwanne versehene Schränke (z. B. nach DIN EN 14 470-1) oder Räume zu benutzen.

Ansonsten werden brennbare Flüssigkeiten im Labor in den vorhandenen Sicherheitsschränken (z. B. nach DIN EN 14 470-1) gelagert.

Brennbare Lösemittel und Reaktionslösungen dürfen zur Kühlung nur in Kühlschränken aufbewahrt werden, deren Innenraum explosionsgeschützt ist. Es ist darauf zu achten, dass der zu benutzende Kühlschrank eine entsprechende Kennzeichnung trägt.

6.2 Selbstentzündliche Stoffe



Eine weitere Quelle für Laborbrände oder auch Explosionen sind Stoffe, die sich bei Zutritt von Luft und / oder Wasser spontan entzünden können. In der gewöhnlichen Laborpraxis sind dies vor allem die Alkalimetalle und ihre Hydride sowie weißer Phosphor.

Gefährlich sind auch Raney-Nickel sowie eine Vielzahl metallorganischer Verbindungen, z. B. Ziegler-Natta-Katalysatoren, deren Handhabung spezielle Arbeitstechniken erfordert.

Alkalimetalle reagieren äußerst heftig mit Wasser unter Bildung von Wasserstoff, was bei Luftzutritt zu Knallgasexplosionen führen kann. Kalium (besonders ältere, verkrustete Präparate) und Natrium-Kalium-Legierungen können sich an der Luft spontan entzünden, sie müssen daher unter einem inerten Lösemittel (z. B. hochsiedendes Ligroin) abgewogen und zerkleinert werden.

Alkalimetallbrände dürfen nur mit trockenem Sand oder Pulverlöscher der Brandklasse D bekämpft werden (Achtung: Keinen CO_2-Löscher verwenden!).

Alkalimetalle werden häufig zum Trocknen von Lösemitteln verwendet, z. B. durch Einpressen von Natriumdraht. Sie dürfen nur für nicht damit reagierende Lösemittel benutzt werden (Kohlenwasserstoffe, Ether, tertiäre Amine). Explosionsartige Reaktionen sind mit Halogenkohlenwasserstoffen möglich!

In der modernen Laborpraxis sollte man ungefährlichere Trockenmethoden, z. B. Verwendung von Molekularsieben, vorziehen. Die Beseitigung der Reste von Alkalimetallen erfolgt wie in Abschnitt 5.3 beschrieben.

6.3 Explosionsgefährliche Substanzen und Gemische



Als explosionsgefährlich bezeichnet man Stoffe oder Stoffgemische, die bei Einwirkung von thermischer Energie (Wärme, Flammen) oder mechanischer Energie (Reibung, Schlag) spontan zu solch heftiger Reaktion kommen, dass eine hohe Energiefreiset-

zung und ein hoher Druckaufbau zu sehr schneller Ausbreitung von Druckwellen führen.

Explosionsgefährlich sind zahlreiche organische Nitroso- und Nitroverbindungen, hochnitrierte Aromaten, Salpetersäureester, viele Verbindungen mit N-N-Bindung (Azo- und Diazoverbindungen, Stickstoffwasserstoffsäure, Azide), Salze der Knallsäure (Fulminate), Chlor-und Jodstickstoff sowie Acetylide; weiterhin viele peroxidische Verbindungen (Persäuren, Persäureester, Peroxide, Hydroperoxide).

Mischungen oxidierender Verbindungen, z. B. Nitrate, Chlorate, Perchlorate, rauchende Salpetersäure, konzentrierte Perchlorsäure und Wasserstoffperoxidlösung (30 %), mit brennbaren und reduzierenden Stoffen können explosionsgefährlich sein. Beispielsweise reagiert rauchende Salpetersäure explosionsartig mit Aceton, Ether, Alkohol, Terpentinöl.

Die Herstellung von explosionsgefährlichen Stoffen oder der Umgang mit ihnen erfordert Kenntnisse und praktische Erfahrungen mit speziellen Arbeitsmethoden und besondere Sicherheitsvorkehrungen. Vor Versuchen, im Labor Sprengstoffe herzustellen, kann nur ausdrücklich gewarnt werden! Dies ist auf Grund sprengstoffrechtlicher Vorschriften verboten. Man gefährdet sich und andere und wird für entstandene Schäden straf- und zivilrechtlich haftbar gemacht.

Ausnahmen für Forschungslaboratorien sind unter Angabe von Mengenbegrenzungen im Sprengstoffgesetz geregelt. Wird im Rahmen dieser Ausnahmevorschriften gearbeitet, sind explosionsgefährliche Stoffe und Gemische in möglichst kleinen Mengen nur an allseitig abgeschirmten Arbeitsplätzen zu handhaben.

Überhitzung, Flammennähe, Funkenbildung, Schlag, Reibung und fester Einschluss (Verdämmung) sind zu vermeiden. Vorräte an solchen Stoffen sind so klein wie möglich zu halten. Sie sind gegen Flammen und Hitzeeinwirkung gesichert, verschlossen und von den Arbeitsplätzen entfernt, möglichst in einem besonderen Raum aufzubewahren.

6.4 Exotherme Reaktionen



Viele chemische Reaktionen sind exotherm. Wird die gebildete Wärme nicht oder nicht ausreichend abgeführt, führt dies zur Selbsterhitzung der Reaktionsmischung und damit zur Beschleunigung des Reaktionsverlaufes („Durchgehen“ der Reaktion).

Die Folge ist, dass es zum unkontrollierten Sieden des Lösemittels, zum Austritt des Reaktionsgemisches aus der Apparatur oder sogar zu heftigen, explosionsartigen Zersetzungsreaktionen kommen kann.

Diese Gefahr des „Durchgehens“ ist besonders dann gegeben, wenn exotherme Reaktionen erst nach einer Induktions-

periode anspringen. Beispiele sind die Herstellung von Grignardverbindungen oder die Nitrierung reaktiver Aromaten. Bei solchen Reaktionen ist ein wirksames Kühlbad bereitzustellen und bis zur Beobachtung einer kontrollierten Reaktion ein größerer Reagensüberschuss zu vermeiden.

Unkontrollierte exotherme Reaktionen können auch bei Aufarbeitungsprozeduren auftreten, insbesondere dann, wenn überschüssige reaktive Reagenzien, wie Säurehalogenide, Alkalimetallhydride usw. inaktiviert werden müssen.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen erfolgt durch Kühlung des Reaktionsgefäßes oder durch Rückflusskühlung.

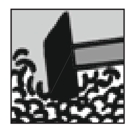
Zu beachten ist hierbei, dass eine gute Durchmischung die Wärmeabfuhr aus der Reaktionsmasse begünstigt, eine hohe Viskosität oder feste Ablagerungen auf der Kühlfläche den Wärmedurchgang verringern.

Die Kontrolle exothermer Reaktionen kann auch durch die langsame Zudosierung eines Reaktionspartners, die Zudosierung eines gekühlten Reaktionspartners oder durch Beachtung der Reihenfolge der Zugabe der Reaktionspartner (Ausnutzung der Wärmekapazität) erfolgen. Falls Stoffe auftreten, die mit Wasser reagieren, darf dieses nicht als Kühlflüssigkeit verwendet werden.

Bei exothermen Reaktionen ist ganz besonders vor einer erheblichen Ansatzvergrößerung zu warnen. Beim Übergang zu größeren Apparaturen ändert sich nämlich die Masse der Stoffe und damit die Reaktionswärme in der dritten Potenz, die für die Wärmeabfuhr zur Verfügung stehende Oberfläche der Apparatur aber nur mit der zweiten Potenz des Radius des Reaktionsgefäßes.

Die Gefahr einer Selbsterhitzung wird also mit wachsender Masse ständig größer. Eine Ansatzvergrößerung sollte daher stets in kleinen Schritten und unter ständiger Beobachtung möglicher exothermer Effekte vorgenommen werden.

6.5 Zersetzungsreaktionen



Viele Stoffe oder Stoffgemische erweisen sich bei thermischer oder mechanischer Beanspruchung als instabil. Sie zersetzen sich unter Umständen spontan mit hoher Energiefreisetzung, so dass die Zersetzung einen explosionsartigen Verlauf nehmen kann.

Zu hohe thermische Belastung kann in der Laborpraxis beim Trocknen oder Destillieren von Stoffen gegeben sein. Beim Trocknen thermisch instabiler Stoffe in Wärmeschränken ist die Trocknungstemperatur so zu wählen und ggf. durch eine Übertemperatursicherung abzusichern, dass eine Zersetzung nicht eingeleitet werden kann.

Destillationen sollen vorsorglich hinter Schutzschildern durchgeführt werden.

Grundsätzlich dürfen Substanzen bei der Destillation, insbesondere Destillationsrückstände, nicht zu hoch erhitzt werden. Zeigen sich im Verlauf von Destillationen Anzeichen für eine beginnende Zersetzung (z. B. plötzliches Aufschäumen, Ausgasen), muss mit einem spontanen Verlauf der Zersetzung gerechnet werden. Gegebenenfalls ist der gefährdete Bereich zu räumen und die betroffene Umgebung zu warnen. Die Heizquelle ist zu entfernen oder von ungefährdeter Stelle aus abzuschalten.

Mechanisch sensibel werden einige Substanzen, wenn diese getrocknet werden (Aufhebung der Phlegmatisierung). Beispiele hierfür sind Diazoniumsalze und Nitrophenolate. Bei der Handhabung solcher Stoffe ist das Austrocknen zu vermeiden.

In der Laborpraxis bildet insbesondere die mechanische und thermische Instabilität von organischen Peroxiden eine latente Gefahr. Peroxide bilden sich in vielen organischen Lösemitteln beim Stehen unter Luftzutritt.

Zur Bildung von Peroxiden neigen zahlreiche organische Verbindungen, z. B. Diethylether, Diisopropylether, Dioxan, Tetrahydrofuran, ferner ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Tetralin, Cumol, Aldehyde, Ketone und Lösungen dieser Stoffe.

Zwar liegen solche Peroxide nur in sehr kleinen Konzentrationen vor, sie werden aber bei Destillationen in den Rückständen angereichert und können unter bestimmten, nicht vorhersehbaren Umständen zu verheerenden Explosionen führen. Die Tatsache, dass solche Vorfälle selten sind, verführt durch den Gewöhnungseffekt zur unangebrachten Vernachlässigung der Sicherheitsmaßnahmen, die im Folgenden beschrieben sind.

Am Rande sei vermerkt, dass ein Peroxidgehalt in den verwendeten Lösemitteln häufig die Reinheit und Ausbeute von Syntheseprodukten beeinträchtigt.

Flüssigkeiten, die zur Bildung organischer Peroxide neigen, sind im Dunkeln bzw. in Flaschen aus dunklem Glas oder aus licht- und durchlässigem Material aufzubewahren. Sie müssen vor der Destillation bzw. dem Abdampfen auf Anwesenheit von Peroxiden untersucht und gegebenenfalls von Peroxiden befreit werden.

Nach Erhalt oder längerem Stehen sind die oben genannten Lösemittel mit Hilfe eines Peroxid-Teststäbchens auf Peroxide zu prüfen.

Peroxidhaltige Lösemittel werden nach geeigneten Literaturvorschriften gereinigt. Die erneute Bildung von Peroxiden wird verhindert durch Zugabe von Oxidationsinhibitoren, durch Aufbewahrung in dunklen Flaschen, am wirksamsten aber, zumal wenn es sich um wertvolle absolute Lösemittel handelt, unter Inertgas.

Bei allen chemischen Synthesen mit Peroxiden, Persäuren, Wasserstoffperoxid, molekularem Sauerstoff und Ozon muss vor der Aufarbeitung auf Anwesenheit von Peroxiden geprüft werden, die gegebenenfalls durch ein Reduktionsmittel zerstört werden. Peroxidische Verbindungen als Synthesezwischenprodukte sollten nur in verdünnten Lösungen gehandhabt werden.

Auf ihre Reinisolierung sollte verzichtet werden.

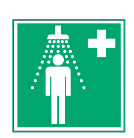
6.6 Brandschutz in Laboratorien





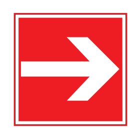
In Laboratorien sind an leicht zugänglicher Stelle Löschdecken und Handfeuerlöscher bereitzuhalten.





In der Nähe der Ausgänge befinden sich Notduschen. Diese sind monatlich auf ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen.





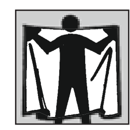


Kleine Brände sind mit den vorhandenen Feuerlöschmitteln zu bekämpfen, sofern dies gefahrlos möglich ist.

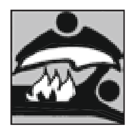
Droht der Brand sich auszuweiten und außer Kontrolle zu geraten, ist unverzüglich die Feuerwehr zu benachrichtigen.







Kleiderbrände sind unter der Notdusche, mit Feuerlöschern oder Löschdecken zu bekämpfen. (Leichtflüchtige Lösemittel dringen oft durch das Gewebe der Feuerlöschdecken und können sich dann wieder entzünden.) Notfalls kann auch das Hin- und Herwälzen des Brennenden den Brand ersticken, unterstützt durch das Überstreifen von Kleidungsstücken und dergleichen. Brennende Kleidung ist so schnell wie möglich abzuwerfen.



Bei größeren Kleiderbränden, insbesondere in Zusammenhang mit Lösemitteln, brennende Personen nicht weglaufen lassen, da dies den Brand weiter entfacht, sondern flach auf den Boden bringen und dann löschen.

FEUERLÖSCHER
ABC-PUDER PU6a

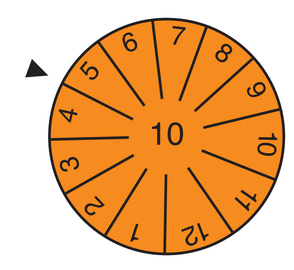


Zum Löschen von Laborbränden sind Pulver- oder Kohlendioxidlöscher geeignet, wobei Letztere keine Rückstände hinterlassen und daher in der Umgebung wertvoller Messgeräte und dergleichen vorzuziehen sind.



Brände von Alkalimetallen und anderen reaktiven Metallen, Metallalkylen, Lithiumaluminiumhydrid, Silanen und verwandten Stoffen werden am besten mit Löschsand oder Löschpulver der Brandklasse D erstickt. Auf keinen Fall dürfen solche Brände mit Wasser bekämpft werden! Ebenfalls ungeeignet sind Kohlendioxidlöscher.

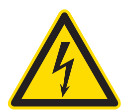
Über Art, Aufstellungsort und richtige Handhabung der vorhandenen Löschmittel sollte sich jeder in einem Labor Arbeitende vor Beginn seiner Tätigkeit informieren. Feuerlöscher müssen alle 2 Jahre überprüft werden (Prüfplakette!).



7 Arbeiten mit elektrischen Betriebsmitteln

Dieses Kapitel behandelt die Gefahren, die bei unsachgemäßem Betrieb elektrischer Geräte drohen und ihre Vermeidung.

7.1 Unfälle mit Strom



Die meisten Stromunfälle werden durch die Benutzung von schadhaften oder ungeeigneten elektrischen Betriebsmitteln oder Anlagen verursacht. Unfälle können auch auftreten, wenn Schäden von „Laien" fehlerhaft behoben werden.

Als wichtigste Maßnahme gilt die Isolierung als Schutz vor der Berührbarkeit spannungsführender Teile.

Die folgenden Regeln müssen unbedingt beachtet werden:

- Bei Arbeiten im Labor dürfen elektrische Betriebsmittel nur bestimmungsgemäß, d. h. nach Betriebsanleitung, verwendet werden.
- Betriebsmittel und Anlagen müssen sich in einwandfreiem Zustand befinden.
- Einstellungen von Sicherheitseinrichtungen dürfen nicht verstellt werden.
- Keine nassen elektrischen Betriebsmittel verwenden.
- Bei Schäden oder ungewöhnlichen Betriebszuständen Geräte oder Anlagen abschalten und diese einer Elektrofachkraft melden.
- Defekte Geräte oder Anlagen nicht weiter verwenden und der Benutzung durch andere Personen entziehen und auf Gefahren hinweisen.
- Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durch elektrotechnische Laien sind nicht zulässig, schon gar nicht an spannungsführenden Teilen.
- Elektrische Anlagen und Betriebsmittel müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik, insbesondere den Bestimmungen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker e.V. (VDE) entsprechen und von einer Elektrofachkraft oder einer elektrotechnisch unterwiesenen Person unter Leitung und Aufsicht durch eine Elektrofachkraft in regelmäßigen Abständen auf ordnungsgemäßen Zustand überprüft werden. Diese Bestimmungen gelten auch für Eigenbaugeräte.
- Für in Laboratorien verwendete Elektrogeräte, wie z. B. für

  - Rotationsverdampfer
  - bewegliche Analysegeräte
  - Heizgeräte
  - Messgeräte
  - netzbetriebene Tischleuchten
  - Rührgeräte
  - Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen

betragen die Prüffristen bei normaler Beanspruchung in der Regel 12 Monate, siehe Information „Prüfung ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel" (BGI/GUV-I 8524).

- Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln dürfen nur von Elektrofachkräften durchgeführt werden.

Die Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (BGV/GUV-V A3) definiert diese wie folgt:

„Als Elektrofachkraft gilt, wer auf Grund seiner fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie Kenntnis der einschlägigen Bestimmungen die ihm übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann.“

7.2 Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Gerät der Mensch in einen Stromkreis, so wirkt sein Körper wie ein Widerstand. Es gilt das Ohmsche Gesetz $U = R x I$.

Der ohmsche Widerstand des menschlichen Körpers ist dabei mit ca. R = 1000 Ohm anzusetzen. Bei einem Körperwiderstand von R = 1000 Ohm können gefährliche Stromstärken schon bei kleinen Spannungen auftreten. Bei einer Nennspannung von 230 V kann ein Strom von 230 mA über den Körper fließen.

Untersuchungen haben ergeben, dass bei 50 Hz Wechselstrom eine Stromstärke von I = 25 mA für den Menschen die Grenze des Erträglichen darstellt. Bei Gleichstrom und Strom höherer Frequenz sind die Werte höher. Darüber hinaus können kurze „Wischer“ auch kleinerer Stromstärken zu Sekundärunfällen führen (z. B. Sturz von einer Leiter).

Bei der physiologischen Wirkung einer Körperdurchströmung kann man die folgenden Bereiche unterscheiden:



Bereich I (0 – 25 mA)

Geringe Blutdrucksteigerung, oberhalb etwa 10 mA Muskelverkrampfungen, Hängenbleiben oder Klebenbleiben („Loslassgrenze“) am Strom, bei längerer Dauer Verkrampfung der Atemmuskulatur

▶ Im Allgemeinen nicht tödlich.



Bereich II (25 – 80 mA)

Sofern das Herz in den Stromkreis einbezogen ist, kann es zum Herzstillstand und Atemlähmung infolge Muskelverkrampfung kommen, nach ca. 30 Sekunden ist Herzkammerflimmern möglich, der Sauerstofftransport zu den Körperzellen wird unterbunden.

▶ Versagen des Blutkreislaufes kann zum Tode führen.



Bereich III (80 – 5000 mA)

Starke Blutdrucksteigerung und Verkrampfung der Atemmuskulatur, Herzkammerflimmern tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit schon bei ca. 0,3 Sekunden Durchströmungsdauer auf.



Bereich IV (> 5000 mA)

Herzstillstand tritt vielfach spontan während der Durchströmung ein, meist kein Herzkammerflimmern, jedoch thermische Wirkungen des Stromes (Verbrennungen

durch Lichtbogen). Solche hohen Körperdurchströmungen treten im Allgemeinen bei Hochspannungsunfällen auf. Neben der Durchströmung kann es zu äußeren Verbrennungen kommen

- ▶ Der Tod tritt dann oft erst nach Tagen oder Wochen ein.

8 Arbeiten mit Strahlung

Dieses Kapitel nennt Regeln für den Umgang mit radioaktiven Stoffen. Es beantwortet die Fragen:


Wie schützt man sich vor äußerer und innerer Bestrahlung?


Wie vermeidet man Kontaminationen?

Es werden ferner Hinweise für das sichere Arbeiten mit Röntgenstrahlen und mit intensiven Lichtquellen gegeben.

8.1 Arbeiten mit radioaktiven Stoffen

Umgang mit radioaktiven Stoffen umfasst nach § 3 der „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen" (Strahlenschutzverordnung, StrlSchV v. 20.7.01) Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen, so dass auch Laborarbeiten unter den Geltungsbereich dieser Verordnung fallen. Werden Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen ausgeführt, die den Umfang der in Anlage I der StrlSchV aufgeführten „genehmigungsfreien Tätigkeiten" überschreiten, sind diese der zuständigen Behörde anzuzeigen und dürfen erst nach erteilter Genehmigung ausgeführt werden. Zu den genehmigungsfreien Tätigkeiten gehören z. B. Arbeiten mit radioaktiven Stoffen unterhalb bestimmter Freigrenzen.

8.1.1 Regeln für den Umgang mit radioaktiven Stoffen

Gefahren für das Laborpersonal beim Umgang mit radioaktiven Stoffen sind gegeben durch die

- Möglichkeit der äußeren Bestrahlung,
- Möglichkeit der Inkorporation radioaktiver Stoffe und damit die Gefährdung durch innere Bestrahlung,
- Möglichkeit der Kontamination z. B. der Haut. Durch Kontamination bedingt kommt es zu einer äußeren Bestrahlung mit dem Abstand der Strahlenquelle zum Körper gleich 0. Es kann aber hierbei auch die Gefahr der Resorption radioaktiver Stoffe durch die Haut in den Körper bestehen.

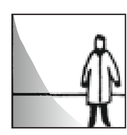
Die genannten Gefahren können vermieden, zumindest aber minimiert werden, wenn das Laborpersonal vor dem Umgang mit radioaktiven Stoffen entsprechend § 38 der StrlSchV unterwiesen wird. Die Unterweisung erfolgt auf der Grundlage der nach § 34 zu erstellenden Strahlenschutzanweisung.

Strahlenschutzanweisung und Unterweisung müssen relevante Inhalte der Strahlenschutzverordnung und des Genehmigungsbescheides, sowie von Richtlinien und Normen aufnehmen. Sie müssen sich aber auf jedem Fall nach den spezifischen Gefahren des zu handhabenden radioaktiven Stoffes richten (physikalische, chemische Beschaffenheit und Art der Strahlung, α, β oder γ Strahlung).

Insofern können hier nur allgemeine Festlegungen für das sichere Arbeiten formuliert werden. Diese sind:

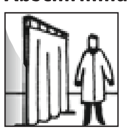
8.1.2 Schutz gegen äußere Bestrahlung

1. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei γ-strahlenden Nukliden



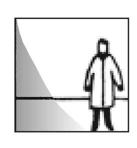
Abstand halten!
Dosisleistung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle ab (und außerdem linear mit der Aktivität).

Abschirmmaßnahmen



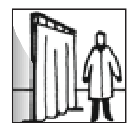
können verwirklicht werden z. B. mit mobilen Bleiwänden oder Umschließungen der Strahlenquellen mit Bleibausteinen. Die Dicke der Bleimaterialien richtet sich nach der Aktivität und der Energie der γ-Strahler und der (unvermeidbaren) Expositionszeit des Laborpersonals.

2. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei β-strahlenden Nukliden



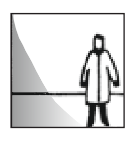
Abstand halten!
Dies gilt insbesondere bei Nukliden mit Energien oberhalb 200 keV. Die Dosisleistung nimmt linear mit der Aktivität und mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle, aber gegenüber γ-Strahlen noch linear mit einem Schwächungsfaktor der β-Strahlen in Luft entsprechend dem gewählten Abstand ab.

Beim Umgang mit hochenergetischen β-Strahlern mit hohen Aktivitäten können auch Ferngreifer zum Einsatz kommen.

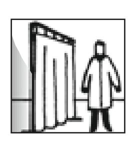


Abschirmmaßnahmen
können verwirklicht werden mit Materialien geringer Materiedichte. Wegen der gegenüber γ-Strahlern höheren Strahlenschwächung der β-Strahlen genügen zumeist schon als Abschirmmaterialien Glas- oder Kunststoffscheiben. Hierbei muss allerdings durch entsprechende Dicke der Abschirmmaterialien oder durch die Auswahl entsprechend geeigneter Materialien die Gefahr durch Bremsstrahlung (Röntgenstrahlung) minimiert werden (kein Blei!).

3. Schutz gegen äußere Bestrahlung bei α-strahlenden Nukliden



Abstand halten!
Durch die geringere Reichweite der α-Strahlen in der Luft bzw. der großen Schwächung der α-Strahlung bereits schon in der Luft hat die Forderung nach Abstand halten nicht die Bedeutung wie bei den γ- und β-Strahlern. Allerdings darf der Abstand nicht so klein werden, dass Kontaminationen z. B. der Haut auftreten.



Abschirmmaßnahmen
Hier genügen zumeist schon Kunststoff- oder Glasbehältnisse geringer Wanddicke. Bleiabschirmungen nur bei α-Nukliden mit gleichzeitiger γ-Emission.

8.1.3 Schutz gegen innere Bestrahlung (Inkorporation von Radionukliden)

Auf den Schutz gegen innere Bestrahlung, d. h. auf die Vermeidung der Inkorporation von Radionukliden muss insbesondere bei α-Strahlern geachtet werden. α-Strahler, aber auch andere Korpuskularstrahler vergleichbarer Masse wie die α-Strahler bewirken gegenüber γ- und β-Strahlern gleicher Energie im Körper die größte Schädigung.

Daher sollten α-Strahler, sofern die Gefahr der Freisetzung besteht, ab ca. dem 100fachen der Freigrenze in Handschuhkästen gehandhabt werden.

Essen, Rauchen, Trinken, Schnupfen und das Benutzen kosmetischer Mittel sind im Kontrollbereich verboten, damit nicht über Mund und Nase radioaktive Stoffe in den Körper gelangen können.

Die Verwendung mundbedienter Pipettiergeräte ist strengstens verboten.

Zur Vermeidung der Inhalation luftgetragener radioaktiver Stoffe sollte mit diesen je nach Höhe des Freisetzungsgrades in Abzügen oder abgesaugten Handschuhkästen gearbeitet werden.

Auch kann, zur Verminderung des Freisetzungsrisikos, mit geeigneten Rückhaltevorrichtungen (Vorlagen, Kühlfallen) gearbeitet werden.

Die technische Lüftung im Kontrollbereich muss so dimensioniert sein, dass keine zu hohe Konzentration radioaktiver Stoffe in der Laborluft auftritt.

Zur Kontrolle der Lüftungsanlage müssen optische und akustische Überwachungsgeräte vorhanden sein.

8.1.4 Schutz vor Kontamination

Auf den Schutz vor Kontamination müssen insbesondere das Laborpersonal bzw. die Studierenden achten. Die Werte für die Hautkontamination und die Kontamination anderer Organe nach § 54-55 StrlSchV sind zu beachten. Dies bedeutet, dass auch die geringste messbare Kontamination der Haut und anderer Organe unbedingt zu vermeiden ist.

Arbeitsflächen, Arbeitsgeräte sind z. B. durch Abdecken mit Folien, Auslegen mit saugfähigem Material gegen Kontamination und damit gegen Kontaminationsverschleppung an den Körper zu schützen.

Im Kontrollbereich ist grundsätzlich persönliche Schutzausrüstung zu tragen (Schutzkittel, Schutzanzug, Schutzhandschuhe, Überschuhe und dergleichen

mehr). Diese Schutzausrüstung darf im Labor nicht ausgezogen werden.

Alle Störungen, z. B. Ausfall der Lüftung, Ausfall von Messgeräten, die das sichere Arbeiten beeinträchtigen können, sind dem Strahlenschutzbeauftragten zu melden. Labortüren sind geschlossen zu halten (Wahrung des Unterdrucks).

Zur Vermeidung der Kontamination dürfen Gegenstände des persönlichen Bedarfs (z. B. Handtaschen) nicht in den Kontrollbereich mitgenommen werden. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und insbesondere beim Verlassen des Kontrollbereiches sind Hände, Schuhe und die sonstige Schutzausrüstung auf Kontamination zu überprüfen. Festgestellte Kontaminationen sind dem Strahlenschutzbeauftragten unverzüglich zu melden.

Gegenstände dürfen aus Strahlenschutzbereichen (Kontroll-, Überwachungsbereiche) nur dann herausgebracht werden, wenn die Grenzwerte nach Anlage III, Spalte 4 (§ 44 StrlSchV) nicht überschritten sind. Die Laborkleidung ist in einem Schwarzweißbereich abzulegen und gegen die Normalkleidung zu tauschen.

Gegenüber den hier nur allgemein angesprochenen Schutzmaßnahmen enthält die nach § 34 Strahlenschutzverordnung zu erstellende Strahlenschutzanweisung detaillierte Festlegungen hinsichtlich der jeweiligen Laborarbeiten.

§ 95 Abs. 1 und 12 StrlSchV i.V. mit Anl. XI, Teil B regelt Arbeiten mit natürlichen radioaktiven Stoffen an Arbeitsplätzen (Uran-Thoriumverbindungen zu chemisch-analytischen oder chemisch-präparativen Zwecken – die Radioaktivität bleibt dabei unberührt).

8.2 Arbeiten mit Röntgenstrahlen

Röntgengeräte gehören wie Kern-γ-Quellen zu den Gefahrenquellen, mit denen man in chemischen Laboratorien häufig zu tun hat. Räume, in denen solche Geräte aufgestellt sind, sind durch Warnschilder gekennzeichnet und dürfen nur von befugten Personen betreten werden.

Ihr Betrieb ist nur nach Anzeige und ggf. Genehmigung gestattet.

Vor dem Arbeiten an Röntgengeräten (Röntgenfeinstrukturanlagen, Röntgenfluoreszenzanalyse, Mössbauerspektrometer) muss der Studierende vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten unterwiesen worden sein.

Der Studierende darf beim Betrieb einer Röntgeneinrichtung oder eines Störstrahlers nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten mitwirken (§ 13 Abs. 4 RöV).

Eine Filmplakette (Filmdosimeter), die in regelmäßigen Abständen amtlich ausgewertet wird, ist beim Aufenthalt in Räumen mit γ-Strahlenquellen immer zu tragen.

8.3 Arbeiten mit intensiven Lichtquellen, z. B. Laserstrahlen

Intensive Lichtquellen, wie Laser, aber auch Hochdrucklampen (Xenon, Quecksilber) und Lichtbogenlampen sind Gefahrenquellen. In Laboratorien, in denen Hochdruck- oder Lichtbogenlampen strahlen, ist eine das UV-Licht stark absorbierende Brille zu tragen. Gute Durchlüftung der Räume ist wegen der möglichen Ozonentwicklung notwendig.

Das Auge wird bereits durch Laserstrahlung sehr geringer Energiedichte gefährdet. Hohe Energiedichte gefährdet jedoch auch die Haut und gegebenenfalls auch tiefer liegende Organe. Richtwerte für die höchstzulässigen Bestrahlungsstärken (MZB-Werte) sowie die notwendigen Schutzmaßnahmen enthält die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV/GUV-V B2).

Laserbereiche müssen während des Laserbetriebs abgegrenzt und gekennzeichnet sein. An den Zugängen zu Laserbereichen in geschlossenen Räumen ist der Laserbetrieb durch Warnlampen anzuzeigen.

Im Laserbereich dürfen sich nur solche Beschäftigte aufhalten, die über die gefährlichen Wirkungen der Laserstrahlung und über die notwendigen Schutzmaßnahmen belehrt sind. Sie müssen durch geeignete Maßnahmen vor der Wirkung der Laserstrahlung geschützt werden, insbesondere müssen sie geeignete Augenschutzmittel benutzen.

Laser dürfen nur von unterwiesenen Personen betrieben werden. Bei Verwendung von leistungsstarken Lasern der Klassen 3R, 3B und 4, von denen ein erhebliches Gefährdungspotenzial ausgeht, ist im Betrieb ein Laserschutzbeauftragter für die Überwachung des sicheren Betriebs der Lasereinrichtungen zuständig.

9 Gefahren für die Gesundheit

Dieses Kapitel behandelt die Gesundheitsgefahren, die von Gefahrstoffen ausgehen können. Der Verlauf von Vergiftungen und typische Vergiftungserscheinungen werden besprochen. Es wird eine Einteilung vorgenommen sowohl nach der möglichen Schädigung bestimmter Organe oder Körpersysteme als auch nach Stoffen mit ähnlicher toxischer Wirkung. Den Gefahren und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffen ist ein besonderer Abschnitt gewidmet. Weiterhin enthält dieses Kapitel eine Zusammenstellung der wichtigsten krebserzeugenden Stoffklassen sowie im Anhang A ein Verzeichnis der eingestuften krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffe.

9.1 Allgemeine Toxikologie chemischer Arbeitsstoffe

Gefahrstoffe können auf den menschlichen Organismus auf Grund ihrer akuten und chronischen Toxizität sowie ihrer ätzenden, reizenden, sensibilisierenden, krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften gesundheitsschädigend wirken. All diese Faktoren werden bei der Festsetzung der Einstufung und Kennzeichnung eines Stoffes berücksichtigt. § 5 der Gefahrstoffverordnung und die dort aufgeführten EG-Richtlinien enthalten umfangreiche Bestimmungen, nach welchen Kriterien ein bestimmter Stoff einzustufen und zu kennzeichnen ist.

Einen wichtigen Parameter für die Beurteilung der akuten Toxizität eines Stoffes stellen die aus Tierversuchen ermittelten LD_{50}-Werte dar (LD: letale Dosis). Der LD_{50}-Wert beschreibt die Dosis in mg Substanz pro kg Körpergewicht, bei der nach einmaliger Aufnahme innerhalb von 14 Tagen 50 % der Versuchstiere sterben. Dabei ist je nach den Versuchsbedingungen zu unterscheiden zwischen LD_{50} oral bei Aufnahme über den Verdauungstrakt und LD_{50} dermal bei Aufnahme über die Haut. Neben der letalen Dosis LD_{50} wird zur Beschreibung der akuten Toxizität eines Stoffes auch eine letale Konzentration LC_{50} inhalativ bestimmt. LC_{50} inhalativ beschreibt diejenige Luftkonzentration eines Gefahrstoffes in mg / l, bei der nach einer vierstündigen Exposition innerhalb von 14 Tagen 50 % der Versuchstiere sterben.

Gemäß der entsprechenden EG-Richtlinie erfolgt die Einstufung eines Gefahrstoffes unter dem Gesichtspunkt der akuten Toxizität nach folgenden Kriterien:



sehr giftig

LD_{50} oral, Ratte: ≤ 25 mg / kg
LD_{50} dermal, Ratte oder Kaninchen: ≤ 50 mg / kg
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Aerosole / Stäube: ≤ 0.25 mg / l
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Gase / Dämpfe: ≤ 0.50 mg / l

Beispiele: Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff, Dimethylsulfat, Phosgen, Nitrobenzol und Acrolein.



giftig

LD_{50} oral, Ratte:
$25\ mg/kg < LD_{50} \leq 200\ mg/kg$
LD_{50} dermal, Ratte oder Kaninchen:
$50\ mg/kg < LD_{50} \leq 400\ mg/kg$
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Aerosole / Stäube:
$0.25\ mg/l < LC_{50} \leq 1\ mg/l$
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Gase / Dämpfe:
$0.50\ mg/l < LC_{50} \leq 2\ mg/l$

Beispiele: Schwefelkohlenstoff, Methanol, Acetonitril, Benzol, Phenol, Tetrachlorkohlenstoff und Chlor.



gesundheitsschädlich

LD_{50} oral, Ratte:
$200\ mg/kg < LD_{50} \leq 2000\ mg/kg$
LD_{50} dermal, Ratte oder Kaninchen:
$400\ mg/kg < LD_{50} \leq 2000\ mg/kg$
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Aerosole / Stäube:
$1\ mg/l < LC_{50} \leq 5\ mg/l$
LC_{50} inhalativ, Ratte, für Gase / Dämpfe:
$2\ mg/l < LC_{50} \leq 20\ mg/l$

Beispiele: Toluol, Xylol, Pyridin, n-Hexan, Nitromethan, Chloroform und Jod.

9.1.1 Verlauf von Vergiftungen

Vergiftungen können einen plötzlichen oder einen schleichenden Verlauf haben (akute oder chronische Vergiftung). Diese Begriffe werden jedoch auch zur Unterscheidung zwischen einer einmaligen und einer lang dauernden Einwirkung von Schadstoffen verwandt. Im Allgemeinen führen hohe Einzeldosen bzw. -konzentrationen zu akuten Vergiftungen, während chronische Vergiftungen durch wiederholte geringe Dosen entstehen, die jede für sich nur eine schwache Wirkung haben.

Zwischen dem Zeitpunkt der Einwirkung und dem Auftreten erkennbarer Gesundheitsschäden besteht eine unterschiedlich lange Latenzzeit (Sekunden bis Jahrzehnte). Die chronische Intoxikation kann darauf beruhen, dass sich der Schadstoff im Körper anreichert (wie z. B. bei chronischen Schwermetallvergiftungen).

Ein wichtiger Begriff ist die Halbwertszeit für einen Fremdstoff im Körper. Dieser Wert gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte der aufgenommenen Dosis wieder aus dem Körper entfernt ist. Chronische Exposition gegen über kleinen Dosen kann jedoch auch ohne Anreicherung des Stoffes zu einer Schädigung führen. In diesem Falle summieren sich die Effekte der Einzeldosen (Wirkungskumulation).

Die Dosis eines gefährlichen Stoffes, unterhalb derer auch bei langfristiger Einwirkung keine toxische Wirkung auftritt, bezeichnet man als Schwellenwert. Die

Existenz von Schwellenwerten lässt sich durch zwei verschiedene Mechanismen erklären:

Erstens kann die Geschwindigkeit der Elimination größer sein als die der Aufnahme, oder zweitens können zelluläre Schäden schneller zurückgebildet werden, als sie entstehen.

9.2 Schicksal von Schadstoffen im Organismus

Für die Einschätzung der toxischen Wirkung einer Verbindung, die in den meisten Fällen von der Konzentration des Stoffes am Wirkort abhängt, muss man das Schicksal des Schadstoffes im Organismus kennen.

Die Wechselwirkung zwischen Giftstoff und Organismus lässt sich in folgende Abschnitte einteilen:

- Exposition und Aufnahme,
- Verteilung im Organismus,
- Umsetzung der aufgenommenen Verbindung im Stoffwechsel (Metabolismus) und
- Elimination des Stoffes.

9.2.1 Exposition und Aufnahmewege

Als Faustregel gilt, dass die Gesundheitsschädigung durch das Produkt aus Toxizität und aufgenommener Dosis bestimmt wird. Die Aufnahme kann

- inhalativ über Lunge (Atemgifte),
- oral über den Magen-Darmtrakt oder
- dermal über die Haut und die Schleimhäute

erfolgen.

Inhalation ist die wichtigste Einwirkungsform, durch die toxische Stoffe in den Körper gelangen können. Die orale Inkorporation und die Resorption über die Haut lassen sich leichter vermeiden.

9.2.2 Verteilung im Organismus

Von den lokalen Wirkungen, die am Ort der Einwirkung entstehen, unterscheidet man die resorptiven Wirkungen, die darauf beruhen, dass die Substanzen mit dem Blutkreislauf im Körper verteilt werden und zu den betroffenen Organen gelangen.

Die lokalen Wirkungen wie z. B. Verätzen der Haut oder Schleimhäute mit Säuren oder Laugen sind, sobald sie zur Zellzerstörung geführt haben, nicht mehr reversibel. Dagegen sind die resorptiven Wirkungen meistens reversibel, wenn rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Aus dem Blut werden Stoffe durch verschiedene Mechanismen in die Organe aufgenommen. Ungeladene Moleküle können durch die Zellmembranen diffundieren, andere Moleküle benutzen physiologische Carrier (Träger).

Chlorierte Kohlenwasserstoffe, die eine narkotische Wirkung haben, gelangen durch Diffusion in das Gehirn.

Hohe Lipidlöslichkeit erhöht die Aufnahme und vermindert die Elimination aus dem lipidreichen Gewebe.

Dagegen ist die Akkumulation von Quecksilber ein stoffwechselabhängiger Transport.

Leber und Niere haben eine große Kapazität, toxische Stoffe zu akkumulieren. Sie sind auch die wichtigsten Organe für die Umwandlung und Ausscheidung der Verbindungen.

9.2.3 Metabolismus

Die meisten organischen Verbindungen werden nicht unverändert ausgeschieden. Durch den Angriff zellulärer Enzyme werden sie chemisch verändert. In der Leber können resorbierte Chemikalien, Pharmaka und Schadstoffe oxidiert, hydrolysiert, reduziert und mit Schwefelsäure oder Glucuronsäure konjugiert werden. Das Ergebnis der Stoffwechselreaktionen sind im Allgemeinen Verbindungen, die leichter ausgeschieden werden können (Entgiftung).

Die metabolische Umwandlung kann jedoch auch zu toxischeren Verbindungen als den Ausgangsstoffen führen. Man nennt dies im Gegensatz zur Entgiftung körpereigene Giftung. So wird z. B. Anilin zu Phenylhydroxylamin oxidiert, bei dessen weiterer Umsetzung zu Nitrosobenzol Methämoglobin gebildet wird.

Schwefelkohlenstoff reagiert mit Aminogruppen in Peptiden zu Dithiocarbamat-Verbindungen, die metallkomplexierend wirken und u. a. den Spurenelementhaushalt stören.

Aus Tetrachlorkohlenstoff entstehen reaktive freie Radikale, die wenigstens zum Teil für den leberschädigenden Effekt verantwortlich sind.

Der Abbau von Methanol verläuft über die Bildung von Formaldehyd zur Ameisensäure, die schließlich zur Erblindung führt.

Das Insektizid Parathion (E 605) wird in seiner Wirkung als Hemmstoff der Acetylcholinesterase durch Oxidation zu Paraoxon verstärkt.

9.2.4 Elimination

Unter Elimination versteht man die Entfernung des Giftes aus dem Körper durch Metabolismus, Speicherung in Form indifferenter Verbindungen und Ausscheidung. Die Hauptwege für die Ausscheidung sind Ausatmung, Urin und Faeces.

Allgemein kann man sagen, dass alle Stoffe, die als Gas oder Dampf eingeatmet werden, durch Ausatmen abgegeben werden können. Die meisten anderen toxischen Chemikalien und ihre Metaboliten werden durch Urin oder die Faeces ausgeschieden.

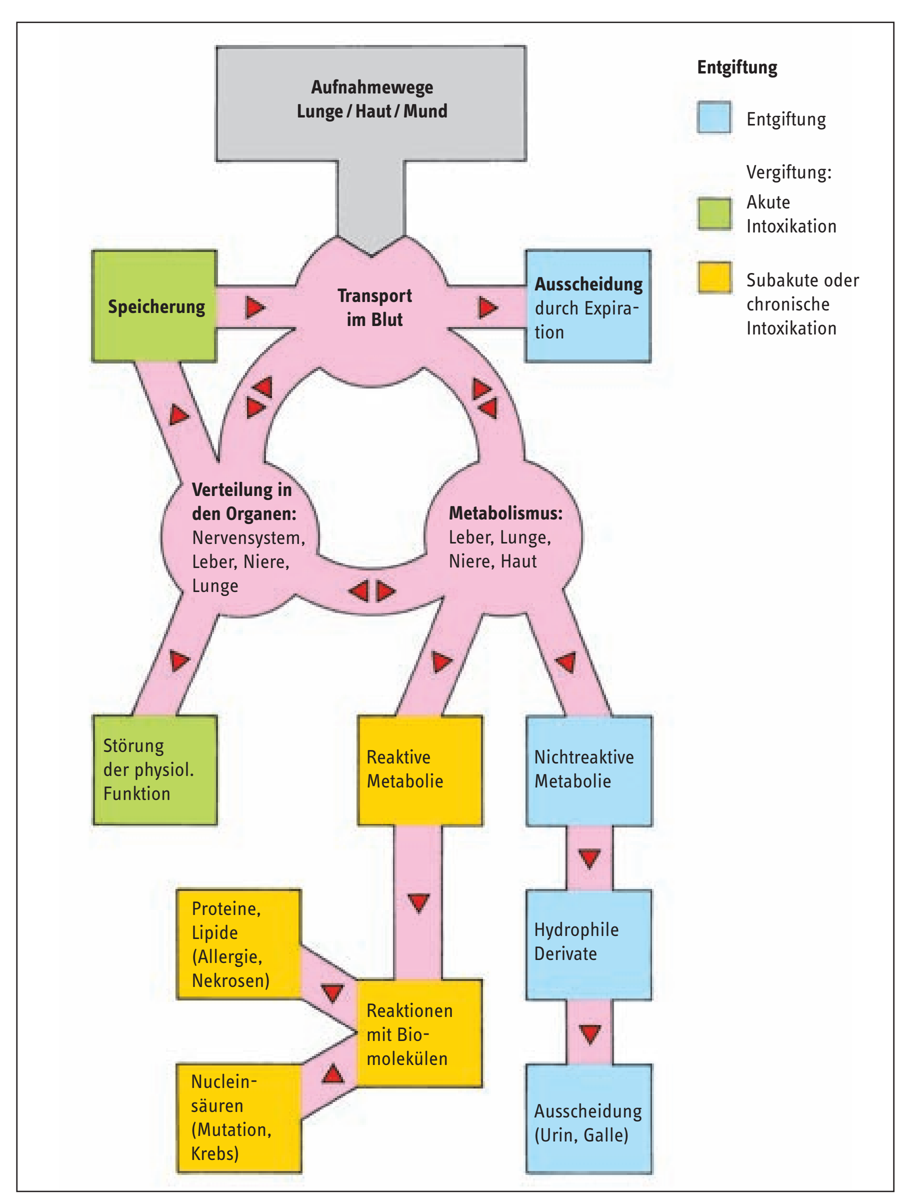

Aufnahmewege
Lunge / Haut / Mund
Entgiftung
Entgiftung
Vergiftung:
Akute
Intoxikation
Subakute oder
chronische
Intoxikation
Speicherung
Transport
im Blut
Ausscheidung
durch Expira-
tion
Verteilung in
den Organen:
Nervensystem,
Leber, Niere,
Lunge
Metabolismus:
Leber, Lunge,
Niere, Haut
Störung
der physiol.
Funktion
Reaktive
Metabolie
Nichtreaktive
Metabolie
Proteine,
Lipide
(Allergie,
Nekrosen)
Hydrophile
Derivate
Reaktionen
mit Bio-
molekülen
Nuclein-
säuren
(Mutation,
Krebs)
Ausscheidung
(Urin, Galle)

Bild 20

Für die Ausscheidung über den Darm ist die Leber die wichtigste Quelle. Die Ausscheidung über die Niere hängt ab von der Filtrationsfähigkeit des Stoffes und den Möglichkeiten der tubulären Zellen, den Stoff zu akkumulieren oder zu sezernieren.

Komplexbildner können die Ausscheidung erhöhen, wenn sie mit den Proteinen um die Bindung des Stoffes konkurrieren. So kann die Ausscheidung von Schwermetallen durch Gabe von Komplexbildnern erhöht werden, wie z. B. die Ausscheidung von anorganischem Quecksilber durch BAL (2,3-Dimercapto-1-propanol) oder Blei durch EDTA (Ethylendiamintetraacetat).

Die schematische Darstellung des Schicksals eines Schadstoffes im Metabolismus gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten einer Vergiftung und Entgiftung bei Eindringen einer toxischen, hydrophoben Verbindung in den Organismus (siehe Bild 20).

9.3 Wirkungen von Schadstoffen

Ätz- und Reizgase reizen die Haut und die Schleimhäute besonders der Atemwege und der Augen. Ihr Auftreten macht sich daher durch Hustenreiz, Stechen in Nase und Rachen sowie Brennen und Tränen der Augen bemerkbar.

Bei bestimmten Gasen können aber die ersten Anzeichen einer Vergiftung sehr schwach sein und es kann dennoch nach mehreren Stunden zu einer schweren Schädigung der Lunge kommen (Lungenödem), die tödlich verlaufen kann. Zum Beispiel können schon wenige Atemzüge konzentrierter nitroser Gase ein Lungenödem auslösen.

9.3.1 Ätz- und Reizgase

Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff wirken als starke Reizstoffe auf die oberen Atemwege, am Auge können Entzündungen der Bindehaut und Hornhautschädigungen hervorgerufen werden.

Das farblose *Schwefeldioxid* ist an seinem stechenden Geruch erkennbar. Es reizt die Schleimhäute und führt in höheren Konzentrationen zu Atembeschwerden, unter Umständen zu Lungenentzündung und Bewusstseinsstörungen.

Die Dämpfe von *Chlor und Brom* sind wesentlich schwerer als Luft und sammeln sich daher am Boden an, wo sie sich längere Zeit halten können. Bei Einatmung rufen sie Husten, Atemnot und Erstickungserscheinungen hervor.

Auch höhere Konzentrationen von *Ammoniak* können zu Erstickungserscheinungen und unter raschem Bewusstseinsverlust zum Tode führen.

Formaldehyd verursacht allergische Erkrankungen der Haut und besitzt eine auffallend starke Reizwirkung auf Augenschleimhäute und obere Atemwege.

Als besonders starke Augenreizstoffe seien ferner erwähnt *Chlor- und Bromaceton,*

Bromessigester und Acrolein, die bereits bei geringsten Luftkonzentrationen starkes Brennen der Augen, Tränenfluss und Lidkrampf verursachen. Erst höhere Konzentrationen schädigen Atemwege und Haut.

Phosgen, ein farbloses Gas, das leicht nach faulem Obst riecht, wird in größeren Mengen als Zwischenprodukt für chemische Synthesen benötigt, tritt jedoch auch bei thermischer Zersetzung von Chlor- und Fluorchlorkohlenwasserstoffen auf. Bei geringer Konzentration verursacht es Hustenreiz, Beklemmung und Übelkeit. In schweren Fällen können noch nach mehreren Stunden Lungenödem und Herzschwäche auftreten, oft mit tödlichem Ausgang.

Ethylenoxid reizt die Schleimhäute, führt zu Kopfschmerzen, Erbrechen und Atemnot. Die Dämpfe von Ethylenimin verursachen starke Reizungen der Augen- und Luftwege, in schweren Fällen Lungenentzündung und Lungenödem.

9.3.2 Gase als Blut-, Zell- und Nervengifte

Kohlenmonoxid ist in reinem Zustand geschmack- und farblos und daher nicht selbstwarnend. Es verbindet sich etwa dreihundertmal stärker als Sauerstoff mit dem Blutfarbstoff Hämoglobin und unterbindet dadurch die Sauerstoffversorgung des Organismus. Es verursacht die häufig auftretenden Vergiftungen durch Schwelgase bei Bränden. Bereits bei längerer Einwirkung von Konzentrationen oberhalb 0,01 Vol.-% kommt es zu Kopfschmerzen, ab 0,2 Vol.-% können tiefe Bewusstlosigkeit, Verringerung der Pulsfrequenz und schließlich der Tod eintreten.

Ein starkes Nervengift ist *Schwefelwasserstoff*, dessen charakteristischer Geruch bei höheren Konzentrationen nicht mehr wahrnehmbar ist. Er reizt die Atemorgane, höhere Konzentrationen können blitzartig Bewusstlosigkeit und schließlich den Tod durch Atemlähmung auslösen.

Blausäure (Cyanwasserstoff) wird aus ihren Salzen leicht durch Säuren freigesetzt. Außer über die Atemwege kann sie auch durch die Haut aufgenommen werden. Sie hemmt die Zellatmung durch Enzymblockierung. Schon geringe Mengen (etwa 1 mg/kg Körpergewicht) wirken tödlich.

Als äußerst giftige und gefährliche Gase seien schließlich noch der nach Knoblauch riechende *Arsenwasserstoff* und der *Phosphorwasserstoff* erwähnt.

9.3.3 Erstickende Gase

Gasförmiger Stickstoff wird in der Laboratoriumspraxis in erster Linie als Schutzgas, *flüssiger Stickstoff* als Kältemittel verwendet. Eine Atmosphäre, in welcher durch Zutritt von Stickstoff der Sauerstoffgehalt unter die normale Konzentration vermindert ist, kann durch Sinnesempfindungen nicht von normaler Luft unterschieden werden.

Bei ihrer Einatmung wird jedoch der Organismus, insbesondere das empfindliche Gehirn, nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Wenn die Sauerstoffkonzentration auf unter 12 Vol.- % vermindert ist, besteht akute Lebensgefahr, bei Konzentrationen zwischen 12 und 15 Vol.- % Sauerstoff zumindest eine Beeinträchtigung des Leistungsvermögens. Bereits ein Atemzug reinen Stickstoffs kann ohne jede Vorwarnung zu Bewusstseinsverlust und Atemstillstand führen, so dass der Tod eintritt, wenn nicht rechtzeitig Wiederbelebungsmaßnahmen vorgenommen werden.

Die gleiche Wirkung hat auch *Argon*, das ebenfalls als Schutzgas verwendet wird. Da es schwerer als Luft ist, sammelt es sich in Vertiefungen an.

Auch andere Gase wie *Methan, Propan und Butan* können durch Verdrängung des Luftsauerstoffes erstickend wirken.

Kohlendioxid, das als Kältemittel und Schutzgas verwendet wird, reichert sich auf Grund seiner hohen Dichte ebenfalls in Vertiefungen und Kellerräumen an. Dieses Gas hat jedoch auch eine spezifische Giftwirkung. Ab 5 Vol.- % CO_2 können Kopfschmerzen und Schwindel, ab 15 Vol.- % Bewusstlosigkeit und der Tod eintreten, auch wenn noch ausreichend Mengen von Sauerstoff vorhanden sind.

9.3.4 Säuren und Laugen

Konzentrierte Säuren und Laugen (Salpetersäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Schwefeltrioxid, Ameisensäure, Natronlauge, Kalilauge und andere) verursachen Verätzungen der Haut und der Schleimhäute, die je nach Konzentration der Stoffe und der Zeitdauer der Einwirkung von einer oberflächlichen Reizung bis zu einer tief greifenden Zerstörung der Haut und der darunter liegenden Gewebe führen können. Besonders gefährdet sind Augen und Luftwege.

Laugen verursachen häufig schwerere Schäden als Säuren, da diese nur langsam heilen. Bereits wenige Spritzer von Kaliumhydroxid- oder Calciumhydroxid-Lösungen können zur Erblindung führen. Besonders gefährlich sind auch die Verletzungen durch Flusssäure, da die Schmerzen häufig erst mehrere Stunden nach der Einwirkung auftreten. Rasche und gezielte ärztliche Hilfe ist beim Kontakt mit konzentrierter Flusssäure besonders wichtig.

Sind Arbeiten durchzuführen, bei denen mit dem Verspritzen von Säuren bzw. Laugen gerechnet werden muss, so sind die Augen durch eine dicht schließende Korbbrille evtl. in Kombination mit einem Gesichtsschutzschild zu schützen.

Als Handschutz können Handschuhe aus Nitril- oder Butylkautschuk oder PVC eingesetzt werden.

In Abhängigkeit von dem Ausmaß der möglichen Gefährdung sind zusätzlich Schürzen und Stiefel aus geeigneten Materialien (PVC, Kautschuk) zu tragen.

9.3.5 Lösemittel

Fast alle *Lösemittel*, auch solche, die keine spezifischen Gifteigenschaften haben, wie z. B. Diethylether, Aceton, Essigsäureethylester, wirken bei Einatmung in geringen Mengen berauschend, in größeren Konzentrationen (einige Vol.-%) narkotisierend. Bei länger andauernder Einwirkung von höheren Konzentrationen droht Lebensgefahr durch Atemlähmung.

Chlorkohlenwasserstoffe wie Monochlormethan, Dichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff und Trichlorethylen können darüber hinaus Leber- und Nierenschädigungen sowie Kreislaufstörungen hervorrufen.

Wegen ihrer hohen akuten Giftigkeit dürfen z. B. *Dichlormethan (Methylenchlorid), Chloroform* und *Tetrachlorkohlenstoff* nicht als Reinigungs- oder Entfettungsmittel, z. B. für Glasgeräte, verwendet werden. Die Einatmung sehr kleiner, auch unter der Geruchsschwelle liegender Mengen von Chlorkohlenwasserstoffen über einen längeren Zeitraum, kann chronische Gesundheitsschäden, z. B. Leberschäden, hervorrufen. Diese Giftwirkung wird durch Alkohol und bestimmte Medikamente (z. B. Barbiturate) verstärkt.

9.3.6 Stäube

Eingeatmete Stäube wirken als Fremdkörper und führen daher stets zu einer Reizung der Atmungsorgane.

Als besonders gefährlich haben sich dabei die biobeständigen Mineralien Quarz und Asbest erwiesen. Sie können bei chronischer Einwirkung zu schweren Erkrankungen der Lunge führen. Voraussetzung dafür ist, dass die Stäube in genügend feinteiliger Form vorliegen, um mit der Atemluft in die Lunge zu gelangen (Lungengängigkeit).

Die Einatmung von Quarzstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von unter 10 µm (alveolengängige Fraktion) kann in 5 bis 10 Jahren, manchmal in kürzerer Zeit, das Krankheitsbild der Silikose auslösen. Bronchitis, Atemnot und Überlastung des Herzens können die Folge sein und im ungünstigen Fall zum Tode führen. Als Komplikation kann Tuberkulose auftreten.

Die verschiedenen, natürlich vorkommenden Asbestmineralien (Chrysotilasbest, Amphibolasbeste) liegen faserförmig vor und haben die Eigenschaft, parallel zur Faserachse zu feinsten Fäserchen aufzuspalten. Wird ein Faserdurchmesser von 3 µm unterschritten, können Fasern bis zu einer Länge von etwa 100 µm durch Einatmung in der Lunge eingelagert werden. Sie können von dort aus zu anderen Körpergeweben, insbesondere zum Brustfell weiterwandern („Pleuradrift"). In der Lunge kann durch Asbestfasern die Asbestose verursacht werden, eine Krankheit, die der Silikose vergleichbar ist und bei der gewöhnlich eine massive Exposition vorausgegangen ist. Asbestfasern können ferner nach einer Latenzzeit von 20 Jahren oder mehr auch nach nur geringer Exposition Lungenkrebs sowie Krebserkrankungen des Rippen- und Bauchfells (Mesotheliome) hervorrufen.

9.3.7 Arbeitsplatzgrenzwerte

Zur Vorbeugung gegen die Giftwirkung von Stoffen, die über die Atemwege aufgenommen werden können, ist es wichtig, diejenigen Konzentrationen in der Arbeitsluft zu kennen, bei denen nach Auffassung toxikologischer und arbeitsmedizinischer Fachleute auch bei länger dauernder Einwirkung eine Gesundheitsgefährdung nicht besteht. Dies sind die „Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)".

Die nachfolgende Tabelle gibt einige Beispiele zu Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW)

Stand Februar 2009

Beispiele	ml / m³ (ppm)	mg / m³
Quecksilber		0,1
Phosphorwasserstoff	0,1	0,14
Salpetersäure	1	2,6
Chlorwasserstoff	2	3
Fluor	1	1,6
Chlor	0,5	1,5
N,N-Dimethylformamid	10	30
Diethylether	400	1200
Dioxan	20	73
Aceton	500	1200
Ethanol	500	960
Methanol	200	270
Toluol	50	190
Tetrahydrofuran	50	150
Pentan	1000	3000
Cyclohexan	200	700
n-Hexan	50	180
Acetonitril	20	34
Tetrachlorkohlenstoff	0,5	3,2
Kohlenstoffmonoxid	30	35
Kohlenstoffdioxid	5000	9100

Quelle: TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte", Ausgabe Januar 2006 in der Fassung vom Februar 2009

Der AGW ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind.

AGW werden für gesunde Personen in erwerbsfähigem Alter aufgestellt. Die AGW haben die früheren Maximalen Arbeitsplatzkonzenrationen (MAK-Werte) und Technischen Richtkonzentrationen (TRK-Werte) abgelöst. Dies wurde notwendig, weil einige MAK-Werte und definitonsgemäß alle TRK-Werte nicht arbeitsmedizinisch, sondern technisch begründet waren. AGW werden nach Votum des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) – einem Fachgremium, das sich aus den im Gefahrstoffbereich relevanten Gruppierungen zusammensetzt – vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) in der TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte" bekannt gegeben und damit rechtsverbindlich.

9.4 Krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe

9.4.1 Rechtsgrundlagen

Besondere Vorsicht erfordert der Umgang mit krebserzeugenden (kanzerogenen), erbgutverändernden (mutagenen) und fortpflanzungsgefährdenden (reproduktionstoxischen) Stoffen (sog. KMR-Stoffe).

Diese Stoffe können bereits in sehr niedrigen Dosen irreversible und kumulative Schäden der Gesundheit hervorrufen. *Erbgutverändernde Stoffe* können durch Veränderungen des genetischen Materials von Keimzellen vererbbare genetische Schäden, *krebserzeugende Stoffe* durch Veränderungen des genetischen Materials von Körperzellen Tumore hervorrufen. Das Besondere der krebserzeugenden Stoffe ist, dass in der Regel eine lange Latenzzeit (Jahre oder Jahrzehnte) zwischen der Exposition und dem Auftreten einer Krebserkrankung besteht.

Die *fortpflanzungsgefährdenden Stoffe* unterteilen sich einerseits in fruchtschädigende Stoffe, die nicht vererbbare Schäden (Missbildungen) am Embryo verursachen können, und andererseits in Stoffe, die die männliche oder weibliche Fortpflanzungsfunktion oder -fähigkeit (Fruchtbarkeit) beeinträchtigen können.

Wegen der besonderen Gefahren, die von krebserzeugenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden Stoffen ausgehen, sind Herstellungs- und Verwendungsverbote (§ 18 in Verbindung mit Anhang IV Gefahrstoffverordnung und Chemikalienverbotsverordnung), Beschäftigungsverbote und -beschränkungen (Mutterschutzgesetz, Mutterschutzrichtlinienverordnung sowie Jugendarbeitsschutzgesetz) sowie besondere Schutzmaßnahmen (§ 11 Gefahrstoffverordnung) und Unterrichtspflichten (§ 14 Gefahrstoffverordnung) zu beachten.

Für werdende Mütter gilt nach der „Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz“ (Artikel 1 der Mutterschutzrichtlinienverordnung) ein generelles Expositionsverbot gegenüber krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fruchtschädigenden Stoffen.

Ein Verzeichnis derjenigen Stoffe, die nach gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend einzustufen sind, befindet sich im Anhang A.

Bei vielen toxischen Stoffen kann anhand von Dosis / Wirkungsbeziehungen ein Schwellenwert (NOEL = No Observed Effect Level) angegeben werden, unter dem unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen keine beobachtbaren Effekte (Schädigungen) auftreten. Für diese Stoffe können AGW aufgestellt werden, die in aller Regel den Schwellenwerten entsprechen.

Für krebserzeugende oder erbgutverändernde Stoffe lassen sich dagegen in der Regel keine Wirkungsschwellen definieren.

Bei solchen Stoffen, die zu Veränderungen des genetischen Materials, der DNS, führen, ist davon auszugehen, dass auch geringste Expositionen irreversible Schäden hervorrufen können.

9.4.2 Wichtige Stoffklassen krebserzeugender bzw. krebsverdächtiger Substanzen

1. **Alkylierende Verbindungen** z. B. Dimethylsulfat, Methyliodid, Diazomethan, Epichlorhydrin, Bis(chlormethyl)ether, Ethylenoxid, Ethylenimin, Vinylchlorid.
2. **Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Heterocyclen** z. B. Benz[a]anthracen, Dibenz[a,h]anthracen, Benzofluoranthene, Benzo[a]pyren, 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin.
3. **Aromatische Amine** z. B. o-Phenylendiamin, 2-Naphthylamin, Benzidin und bestimmte 3,3'-disubstituierte Benzidine, 4-Aminobiphenyl.
4. **Aromatische Nitroverbindungen** z. B. 2-Nitronaphthalin, 4-Nitrobiphenyl.
5. **N-Nitrosoverbindungen** z. B. Nitrosamine (N-Nitrosodiethylamin, N-Nitrosopyrrolidin), Nitrosamide (N-Nitroso-N-methylharnstoff).
6. **Azoverbindungen und Hydrazine** z. B. Diazomethan, 4-Aminoazobenzol, Azofarbstoffe mit einer krebserzeugenden Aminkomponente, Hydrazobenzol, Hydrazin und seine Dialkylderivate.
7. **Schwermetalle und deren Verbindungen** z. B. Stäube von Cadmium und Cobalt und deren Verbindungen, Stäube von Nickel, Nickelsulfid, Nickeloxid und Chrom(VI)-Verbindungen.
8. **Faserstäube** z. B. Asbest, Erionit, Keramikfasern aus Aluminiumoxid, Kaliumtitanat oder Siliciumkarbid.

9.4.3 Biochemische Wirkungen von krebserzeugenden Stoffen

Krebserzeugende Stoffe (Carcinogene) greifen unmittelbar oder mittelbar in den Zellstoffwechsel ein, so dass normale Zellen in Krebszellen umgewandelt werden. Es können lokale Geschwülste am Ort der Einwirkung oder auch maligne Tumoren in verschiedenen Geweben bzw. Erfolgsorganen entfernt vom Ort der unmittelbaren Einwirkung entstehen (Blasentumor durch Benzidin, Mesothelzellenkrebs nach Asbest-Exposition, ausgeprägte Organotropie von Dialkylnitrosaminen).

Die *Partialdosen* einer krebserzeugenden Substanz addieren sich in der krebserzeugenden Wirkung. Mit zunehmender Gesamtdosis wächst die Tumorfähigket im Tierversuch und verkürzt sich die Latenzzeit.

Die Wirkungen verschiedener Carcinogene können sich addieren bzw. potenzieren. Als *Cocarcinogene* bezeichnet man Substanzen, die selbst keine maligne Zelltransformation auslösen, jedoch die Wirkung krebserzeugender Substanzen verstärken. Als allgemeiner Wirkungsmechanismus für organische Carcinogene mit ganz unterschiedlicher Struktur wurden Alkylierungs- bzw. Arylierungsreaktionen mit Makromolekülen der Zelle (Nucleinsäuren, Proteine) erkannt.

Einige Verbindungen wirken ohne enzymatische Aktivierung alkylierend (direkte Alkylantien), wie z. B. Dimethylsulfat und

Diazomethan; andere werden erst durch den Stoffwechsel der Zelle in reaktive Zwischenprodukte umgewandelt (indirekte Alkylantien), wie z. B. Dimethylnitrosamin.

Aromatische Kohlenwasserstoffe werden im Stoffwechsel zu polaren Verbindungen oxidiert (u. a. Abbau zu aromatischen Alkoholen), die insbesondere durch die Konjugation mit Schwefelsäure und Glucuronsäure ausscheidungsfähig gemacht werden. Der Weg der metabolischen Entgiftung verläuft jedoch über reaktive Zwischenverbindungen (Epoxide), die wiederum mit Desoxyribonucleinsäuren reagieren können. Man spricht in diesem Falle bei den reaktionsträgen Ausgangsverbindungen von *Präcarcinogenen*, die durch enzymkatalysierte Reaktionen in *ultimale Carcinogene* umgewandelt werden.

Aus der Stoffklasse der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sind einige Verbindungen Präcarcinogene, andere dagegen nicht. Deshalb kann man ohne eingehende Untersuchungen keine Aussage über die Gefährlichkeit eines Stoffes machen, was bedeutet, dass die Vorsichtsmaßnahmen alle Stoffe einschließen müssen, solange ihre Ungefährlichkeit nicht nachgewiesen wurde.

Da individuelle Unterschiede im Stoffwechsel bestehen und die beteiligten Enzyme verschieden stark durch Medikamente oder chronische Schadstoffexposition induziert sein können, ist die Gefährdung einzelner Personen bei gleicher Einwirkung nicht gleich groß.

9.4.4 Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffen Substitutions- und Minimierungsgebot

Oberstes Gebot der Gefahrstoffverordnung ist der Ersatz von Gefahrstoffen durch weniger gefährliche Stoffe bzw. die Umstellung auf Verfahren, bei denen besonders gefährliche Ausgangs- und Zwischenprodukte vermieden oder minimiert werden. Beispielsweise lässt sich Benzol als Lösemittel in vielen Fällen durch Toluol oder Cyclohexan ersetzten, N-Nitroso-N-methylharnstoff für die Darstellung von Diazomethan durch das ungefährlichere N-Nitroso-N-methyl-p-toluolsu-lfonamid.

Der Verzicht auf eine mögliche Substitution ist in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung zu begründen (§ 9 Abs. 1 GefStoffV). In diesem Fall sind dann besondere Maßnahmen erforderlich:

Besondere Schutzmaßnahmen

- Arbeiten mit KMR-Stoffen sind generell im Abzug mit kleinstmöglichen Mengen, möglichst in geschlossenen Apparaturen, durchzuführen.

- Direkter Hautkontakt ist auf jeden Fall zu vermeiden. Geeignete persönliche Schutzausrüstung (Schutzhandschuhe, ggf. weiterer Körperschutz und Atemschutz) ist bereitzustellen und zu tragen.

- Es ist dafür zu sorgen, dass sich in den Bereichen, in denen mit KMR-Stoffen (aber auch mit anderen gefährlichen toxischen Stoffen) gearbeitet wird, keine labor- oder praktikumsfremden Personen aufhalten. In den Fällen, wo Tätigkeiten mit KMR-Stoffen der Kategorie 1 oder 2 (beim Menschen bzw. im Tierversuch erwiesenermaßen gefährlich) durchgeführt werden, sind diese Bereiche abzugrenzen und zu kennzeichnen. Dies kann z. B. ein einzelner Abzug sein.

Entsorgungsmaßnahmen
Kontaminierte Kolben, Pipetten, Spatel usw. sind nach der Benutzung mit geeigneten Reagenzien in der Art chemisch vorzubehandeln, dass die krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffe zu weniger gesundheitsschädlichen Stoffen umgewandelt werden. Beispiel: Umsetzung von Dimethylsulfat mit Ammoniaklösung.

Krebserzeugende und ergutverändernde Stoffe sind in eigenen Abfallbehältern zu sammeln. Das Befüllen dieser Behälter muss in Abzügen oder unter Absaugung erfolgen. Die Behälter sind geschlossen zu halten.

Verschüttete Substanzen wenn möglich chemisch zu weniger gesundheitsschädlichen Substanzen umsetzen; Flüssigkeiten mit geeigneten Absorptionsgranulat aufnehmen, in dichten Kunststoffbeuteln verpacken und sachgerecht verbrennen lassen. Bei der Entsorgung von verschütteten Substanzen Körper- und Atemschutz verwenden!

10 Atemschutz

10.1 Physiologische Grundlage der Atmung

Die Atmung ist ein lebenswichtiger Vorgang, bei dem das Blut mit der notwendigen Menge Sauerstoff versorgt wird. Der Sauerstoffaustausch findet in der Lunge an ca. 300 Millionen Alveolen (Lungenbläschen) mit einer Oberfläche von 80–100 m^2 statt. Die Atemfrequenz wird über die CO_2-Konzentration im Blut geregelt; ein Anstieg der CO_2-Konzentration im Blut um 0,2 % verdoppelt sie. Der ruhende Mensch atmet 16-mal in der Minute und hat dabei einen Luftverbrauch von ca. 10 l / min. Die Atemfrequenz erhöht sich mit zunehmender Arbeitsleistung. Bei Schwerstarbeit kann der Atemluftverbrauch bis auf 100 l / min ansteigen.

Die eingeatmete Luft hat einen Gehalt von 21 % Sauerstoff und 0,04 % CO_2, die ausgeatmete Luft einen Gehalt von 17 % Sauerstoff und 4 % CO_2. Sauerstoffkonzentrationen unter 15 % bedingen erhebliche Leistungsminderungen mit großen Gefahren – Bewusstlosigkeit bis hin zu Todesfolgen.

10.2 Bereiche des Atemschutzes



Die verschiedenen Bereiche des Atemschutzes sind in der Übersicht in Abschnitt 10.3 zu sehen. Im Rahmen dieser Einführung sollen nur Filtergeräte (umgebungsluftabhängiger Atemschutz) und Pressluftatmer (umgebungsluftunabhängiger Atemschutz) besprochen werden.

Über die anderen Gebiete des Atemschutzes informiert die entsprechende Fachliteratur, z. B. die Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten" (BGR/GUV-R 190).

10.3 Filtergeräte

Atemschutzmasken sind nach den Unfallverhütungsvorschriften und der Gefahrstoffverordnung da einzusetzen oder bereitzuhalten, wo bei der Arbeit oder für die Rettung nach einem Schadensfall mit gesundheitsgefährdenden Stoffen in der Atemluft gerechnet werden muss.

Die Atemschutzmasken sind außerhalb der gefährdeten Bereiche, jedoch für die Beschäftigten schnell erreichbar aufzubewahren (z. B. Gasmaskenschrank im Flur).

Bei Arbeiten mit Druckgasflaschen, die die besonders gesundheitsgefährlichen Gase Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Phosgen oder Fluor enthalten, ist ein geeignetes Atemschutzgerät (z. B. ein an die Kleidung anheftbares Fluchtfiltergerät mit einem Gasfilter des Filtertyps ABEK, siehe Bild 21) dauernd mitzuführen, um eine eventuelle Flucht aus dem Gefahrenbereich zu ermöglichen.

Viertelmasken umschließen Mund und Nase, Halbmasken Mund, Nase und Kinn. Diese beiden Maskentypen schützen jedoch nicht vor Augenreizungen oder -verätzungen.

Vollmasken umschließen das ganze Gesicht und bieten somit einen vollständigen

Einteilung der Atemgeräte nach DIN 3179 und DIN EN 133
(Auszug)
Atemgeräte für Arbeits- und Rettungszwecke

- Tauchgeräte
  (flüssige Umgebung)
- **Atemschutz**
  (gasförmige Umgebung mit einem Druck von etwa 1 + 0,2 / – 0,3 bar)
  - **Atemschutzgeräte** die abhängig von der Umgebungsatmosphäre wirken
    - **FILTERGERÄTE**
  - **Atemschutzgeräte** die unabhängig von der Umgebungsatmosphäre wirken
    - Schlauchgeräte
    - Behältergeräte
      - **PRESSLUFTATMER**
    - Regenerationsgeräte
- Höhenatemgeräte
  (gasförmige Umgebung mit einem Druck von etwa < 0,7 bar)



Bild 21

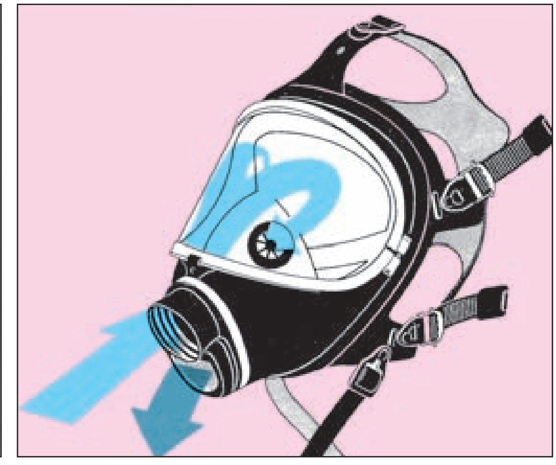


Bild 22

Schutz; daher sollten sie im Laboratorium ausschließlich eingesetzt werden (siehe Bild 22).

Bei der Auswahl des richtigen Atemschutzfilters sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Sauerstoffkonzentration muss mindestens 17 Vol.-% betragen.
- Art und Zusammensetzung der Schadstoffe müssen bekannt sein, da sie den Filtertyp bestimmen.
- Die Konzentrationen von gasförmigen Schadstoffen und Partikeln in der Luft dürfen die in den beiden nachfolgenden Tabellen aufgeführten Höchstkonzentrationen nicht übersteigen.

Atemschutzfilter werden nach Filtertypen und Filterklassen bezeichnet.

Der *Filtertyp* beschreibt die jeweilige Schadstoffart, die aus der Einatemluft herausgefiltert wird, die *Filterklasse* das jeweilige Aufnahmevermögen des Atemschutzfilters.

Einen Überblick über die gängigen Filtertypen und Filterklassen geben die beiden nachfolgenden Tabellen.

Beim *Gasfiltertyp A* (für organische Stoffe) besteht das Filtermaterial in der Regel aus Aktivkohle mit großer spezifischer Oberfläche, an der die Schadgase absorbiert werden.

Bei den übrigen *Gasfiltertypen* – bis auf Kohlenmonoxid-Filter – werden imprägnierte Aktivkohlen verwendet, an der die Schadstoffe absorbiert und chemisch gebunden werden.

Der *CO-Filter* enthält einen speziellen Katalysator (Hopkalit), der das Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid umsetzt.

Ein besonderes Problem stellt das Herausfiltern von organischen Stoffen aus der Luft mit einem Siedepunkt unter 65 °C („Niedrigsieder“) dar. Es konnte gezeigt werden, dass diese Stoffe (wie z. B. Methylenchlorid oder Aceton) nur schlecht von Gasfiltern des Filtertyps A gebunden werden. Entsprechend ihres Abscheideverhaltens (und weiterer Kriterien) werden Niedrigsieder in 4 Gruppen eingeteilt (siehe Anhang B).

Vor Niedrigsiedern der Gruppen 1 und 2 schützen *AX-Filter.*

Bei Niedrigsiedern der Gruppe 3 sind andere Filtertypen (*Typ B oder K*) einzusetzen.

Keine geeigneten Filter gibt es gegenwärtig zum Schutz vor Niedrigsiedern der Gruppe 4.

SX-Filter schützen nur vor bestimmten Einzelstoffen, die vom Hersteller auf dem Filter angegeben sind.

Neben Atemfiltern, die nur einen Gasfiltertyp enthalten, werden auch sog. *Mehrbereichsfilter* (z. B. ABEK) angeboten, in

Filtertypen und Filterklassen von Gasfiltern nach DIN EN 141 und DIN 3181 Teil 3				
Typ	**Kenn- farbe**	**Hauptanwendungsbereich**	**Klasse**	**Höchstzulässige Gaskonzentration**
A	braun	Organische Gase und Dämpfe mit Siedepunkt > 65 °C	1 2 3	1000 ml / m^3 (0,1 Vol.- %) 5000 ml / m^3 (0,5 Vol.- %) 10000 ml / m^3 (1,0 Vol.- %)
B	grau	Anorganische Gase und Dämpfe, z. B. Chlor, Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff – nicht gegen Kohlenmonoxid	1 2 3	1000 ml / m^3 (0,1 Vol.- %) 5000 ml / m^3 (0,5 Vol.- %) 10000 ml / m^3 (1,0 Vol.- %)
E	gelb	Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und andere saure Gase	1 2 3	1000 ml / m^3 (0,1 Vol.- %) 5000 ml / m^3 (0,5 Vol.- %) 10000 ml / m^3 (1,0 Vol.- %)
K	grün	Ammoniak und organische Ammoniak-Derivate	1 2 3	1000 ml / m^3 (0,1 Vol.- %) 5000 ml / m^3 (0,5 Vol.- %) 10000 ml / m^3 (1,0 Vol.- %)
AX	braun	niedrigsiedende organische Verbindungen (Siedepunkt ≤ 65 °C) der Niedrigsiedergruppen 1 und 2 (s. Anhang B)	–	Gr. 1 100 ml / m^3 f. max. min Gr. 1 500 ml / m^3 f. max. 20 min Gr. 1 1000 ml / m^3 f. max. 60 min Gr. 1 5000 ml / m^3 f. max. 20 min
SX	violett	wie vom Hersteller festgelegt	–	5000 ml / m^3 (0,5 Vol.- %)
NO	blau	nitrose Gase z. B. NO, NO2, NOX	–	siehe Benutzerhinweis des Herstellers
Hg	rot	Quecksilber	–	siehe Benutzerhinweis des Herstellers
CO	schwarz	Kohlenmonoxid	–	siehe Benutzerhinweis des Herstellers
Reaktor	orange	radioaktives Iod, einschl. radioaktivem Iodmethan	–	siehe Benutzerhinweis des Herstellers

Filterklassen von Partikelfiltern nach DIN EN 143						
Typ	Kenn- farbe	Hauptanwendungsbereich	Klasse	Höchstzulässige Konzentration in Vielfachem des jeweiligen Luftgrenzwertes bei Verwendung einer		
				Rückhalte- vermögen	Halbmaske	Vollmaske
P	weiß	Feststoffpartikel (Stäube, Rauche) Feststoffpartikel und Tröpfchenaerosole Feststoffpartikel und Tröpfchenaerosole	1 2 3	gering mittel hoch	4 10 30	4 15 400

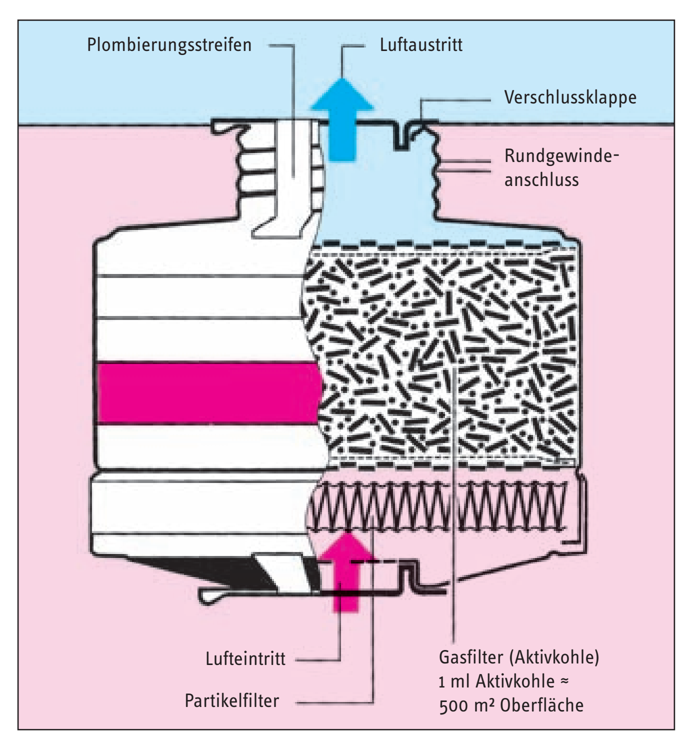


Bild 23:
Kombinationsfilter



Bild 24: Beispiel für Kombinationsfilter

Kennzeichnung von Atemfiltern nach DIN EN 141 und DIN EN 143

Atemfilter müssen gekennzeichnet sein. Die Kennzeichnung muss enthalten:

- Filtertyp
- Filterklasse
- Kennfarbe
- Hersteller
- Nennung der gültigen Norm
- Ablaufdatum der Lagerzeit
- Hinweis „Siehe Gebrauchsanleitung“

denen die einzelnen Gasfiltertypen (z. B. A, B, E und K) integriert sind.

Kombinationsfilter vereinigen Gas- und Partikelfilter in einem Gehäuse (siehe Bild 23). Die Atemluft wird dabei zunächst im *Partikelfilter* von Feststoffpartikeln und Tröpfchenaerosolen gereinigt und dann im *Gasfilter* von gas-und dampfförmigen Schadstoffen. Diese Anordnung schützt auch zuverlässig gegen flüchtige Partikel.

Alle bei der Auswahl des Filters zu berücksichtigenden Voraussetzungen sind unbedingt zu beachten. Für den allgemeinen Laborbetrieb sind *Kombinationsfilter des Mehrbereichsfiltertyps ABEK-P* besonders geeignet. Allerdings ist zu beachten, dass zum Schutz vor Niedrigsiedern auch diese Kombinationsfilter nicht geeignet sind.

Die Einsatzdauer eines Atemfilters hängt von seinem Aufnahme- und Rückhaltevermögen und den Einsatzbedingungen ab. Luftverbrauch des Atemschutzmaskenträgers, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Schadstoffkonzentration und Schadstoffzusammensetzung setzen die Grenzen. Die Erschöpfung eines Kombinationsfilters zeigt sich durch Geruchswahrnehmung und / oder erhöhten Atemwiderstand an.

Die Lagerzeit fabrikmäßig verschlossener Filter ist mit Monat und Jahr auf dem Filterkörper angegeben. Wird eine Atemschutzmaske zur Durchführung eines Experiments, bei dem Gefahrstoffe zum Einsatz kommen, vorsorglich mit einem Filter bestückt, so ist der Filter nach Abschluss des Experiments ohne Einsatz von der Maske abzuschrauben, mit den Kunststoffkappen zu verschließen und auf dem Filterkörper deutlich mit dem Öffnungsdatum zu beschriften. Das so gekennzeichnete Filter (Ausnahme: AX-Filter) kann noch 6 Monate bei voller Leistungsgarantie zum Einsatz kommen; dann ist es zu ersetzen.

AX-Filter dürfen generell nur im Anlieferungszustand verwendet werden. Die wiederholte Benutzung von AX-Filtern ist nur innerhalb eines Arbeitstages (8 Stunden) zulässig.

10.4 Pressluftatmer

Bei Gefahr von Sauerstoffmangel in der Umgebungsluft unter 17 Vol.- % und / oder bei zu hoher Schadstoffkonzentration muss umgebungsluftunabhängiger Atemschutz benutzt werden. Hierzu eignen sich *Pressluftatmer*, bei denen dem Geräteträger verdichtete Luft natürlicher Zusammensetzung aus einer meist auf dem Rücken getragenen Stahlflasche zugeführt wird.

Pressluftatmer dürfen nur von ausgebildeten und körperlich dazu geeigneten Personen benutzt werden.

11 Erste Hilfe bei Chemieunfällen

11.1 Allgemeine Maßnahmen

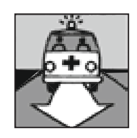


Verletzten bzw. Vergifteten aus dem Gefahrenbereich bergen, Selbstschutz beachten.

Der Ort für die Erstversorgung sollte so gewählt werden, dass ein schneller Abtransport möglich ist und weitere Hilfspersonen nicht in den Gefahrenbereich müssen. Der Ersthelfer muss sich, soweit erforderlich, selbst schützen (Schutzhandschuhe, Säureschutzkleidung, Atemschutz usw.).



Notruf
Rettungsdienste verständigen
Notrufangaben:
WO geschah es?
WAS geschah?
WIE VIELE Verletzte?
WELCHE Art von Verletzungen?
WARTEN auf Rückfragen!



Abtransport organisieren
Die Besatzung des Rettungswagens vor und im Gebäude einweisen. Kranken-Transportwege frei machen.



Arzt anfordern
Bei allen schweren Unfällen sofort ärztliche Hilfe anfordern.



Melden
Unfälle prinzipiell dem Laborleiter melden. Studenten in Praktika wenden sich an ihren zuständigen Assistenten.



Sind Personen verletzt, muss der Laborleiter unverzüglich eine Unfallanzeige ausfüllen und an den zuständigen Unfallversicherungsträger senden.



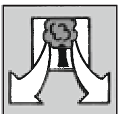
Tödliche Unfälle, besonders schwere Unfälle und Massenunfälle sofort telefonisch oder mit Fax dem zuständigen Unfallversicherungsträger und dem Gewerbeaufsichtsamt melden.

Alle Verletzungen, auch kleinere, in das Verbandbuch (BGI/GUV-I 511-1) eintragen.

11.2 Sofortmaßnahmen der Ersten Hilfe

Im Folgenden werden einige besonders wichtige Maßnahmen der Ersten Hilfe genannt. Diese Aufzählung kann eine eingehendere Information und insbesondere eine praktische Ausbildung in Erster Hilfe nicht ersetzen. Jeder Chemiestudierende ist daher aufgefordert, an einem Erste-Hilfe-Kurs teilzunehmen. Ausführliche Hinweise auf Erste-Hilfe-Maßnahmen können aus der Information „Erste Hilfe bei Einwirken gefährlicher chemischer Stoffe“ (GUV-I 8504) sowie dem Erste-Hilfe-Plakat (BGI/GUV-I 510-1) entnommen werden.

Allgemein sollten Sie Folgendes beachten:



Frischluftzufuhr ermöglichen.
- Beengende Kleidung öffnen.
- Benetzte Kleidungsstücke entfernen (gilt auch für die Unterwäsche).



- Benetzte Haut mit viel Wasser abspülen.



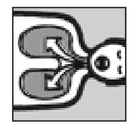
Wenn Spritzer in die Augen geraten sind
- Augen mit Augendusche mind. 10 Min. mit Wasser spülen; dabei mit Daumen und Zeigefinger Lidspalt offen halten.



- Verletzten nicht abkühlen lassen.
- Wenn möglich, auf eine Unfalltrage oder eine Decke legen und zudecken.



- Ein Bewusstloser muss in stabile Seitenlage gebracht werden.



Für spezielle Fälle gilt:
Bei Atemstillstand:
Bei Atemstillstand kann nur sofortige Beatmung Leben retten; Sekunden entscheiden.

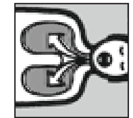
Erkennen:
Keine Atemgeräusche, keine Atembewegung, auffallende Hautverfärbung.

Maßnahmen:
- Streckung des Halses zur Schaffung freier Atemwege.
- Erforderlichenfalls Fremdkörper aus Mund und Rachen entfernen.
- Atemspende: Mund-zu-Mund- oder Mund-zu-Nase-Beatmung.

Bei Bewusstlosigkeit:

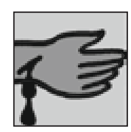


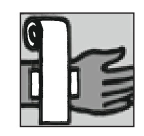
Erkennen:
Der Bewusstlose ist nicht ansprechbar.



Maßnahmen:
- Feststellen der Atmung,
- stabile Seitenlagerung.
- Falls keine Atmung vorhanden, siehe Atemstillstand.

Bei Blutungen aus Wunden:



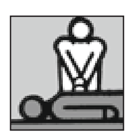


Maßnahmen:
- Jede Wunde keimfrei bedecken.
- Fast alle Blutungen sind mit einem Verband oder Druckverband zu stillen.

Bei Kreislaufstillstand:



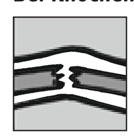
Erkennen:
Keine Atmung,
kein Herzschlag.



Maßnahmen:

- Herz-Lungen-Wiederbelebung.

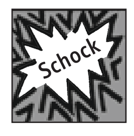
Bei Knochenbrüchen:



Maßnahmen:

- Körperteil mit Bruchstelle nicht bewegen.
- Bei Verdacht auf Wirbelsäulenverletzungen Lage des Verletzten nicht ändern.
- Lage des Verletzten durch Decken und feste Gegenstände fixieren.
- Bei offenem Knochenbruch Wunde vorsichtig keimfrei bedecken.

Bei Schock:



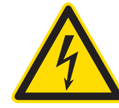
Erkennen:
Schneller und schwächer werdender, schließlich kaum tastbarer Puls, fahle Blässe, kalte Haut, Frieren, Schweiß auf der Stirn, auffallende Unruhe.
Diese Zeichen treten nicht immer alle und nicht immer gleichzeitig auf.



Maßnahmen:

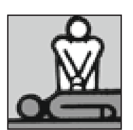
- ggf. Blutstillung,
- Schocklage (in Rückenlage Beine anheben bzw. hoch lagern. Achtung: Nicht bei Brüchen von Beinen, Becken, Wirbelsäule und Gefahr innerer Verletzungen),
- Wärmeverlust verhindern,
- für Ruhe sorgen,
- Orientierungsfragen stellen,
- Kontrolle von Puls und Atmung.

Bei Unfällen durch elektrischen Strom:



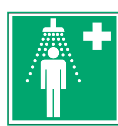
Maßnahmen:

- Stromunterbrechung durch Ausschalten, Stecker ziehen,
- Sicherung herausnehmen, bzw. Hauptsicherung abschalten. Ist das nicht sofort möglich, Verunglückten durch nicht leitenden Gegenstand, z. B. trockene Holzlatte, von den unter Spannung stehenden Teilen trennen oder an seinen Kleidern wegziehen; sich dabei selbst isoliert aufstellen, z. B. auf trockenes Brett, trockene Kleider oder mehrere Zeitungen.
- Sonst nichts berühren, z. B. nicht Wand, Gestell, andere Helfer.
- Für Ruhe sorgen,
- Atmung und Puls kontrollieren,



- bei Atemstillstand Atemspende,
- bei Kreislaufstillstand Herz-Lungen-Wiederbelebung.
- Bei Bewusstlosigkeit und vorhandener Atmung – stabile Seitenlage.
- Keimfreie Bedeckung von Brandwunden.

Bei Verätzungen:



Maßnahmen:

Bei Verätzungen der Haut: Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen. Haut mit viel Wasser spülen.



Bei Verätzungen der Augen: Augen sofort ausgiebig mit Wasser spülen.

Bei Verätzungen des Mundes, der Speiseröhre, des Magens:

- Reichlich Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen.
- Auf keinen Fall Erbrechen herbeiführen.

Bei Verbrennungen und Verbrühungen:
Maßnahmen:



- Brennende Personen aufhalten und ablöschen.
- Bekleidung, die mit heißen Stoffen behaftet bzw. durchtränkt ist, sofort entfernen.
- Betroffene Körperteile sofort in kaltes Wasser eintauchen oder unter fließendes kaltes Wasser halten bis Schmerzlinderung eintritt.
- Anschließend Brandwunde keimfrei bedecken (Brandwundenverbandpäckchen, Brandwundenverbandtuch aluminiumbeschichtet o. Ä.).
- Wärmeverlust verhindern, schonend zudecken.
- Keine Salben, Puder oder dgl. aufbringen.
- Sofort in ärztliche Behandlung geben.

Bei Vergiftungen durch Einatmen, Hautkontakt oder Verschlucken:



Maßnahmen:

- Verletzten unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich bringen.
- Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen.
- Haut mit viel Wasser spülen.
- Puls, Atmung und Bewusstsein kontrollieren.
- Für Ruhe sorgen.
- Vor Wärmeverlust schützen.
- Wenn es sicher ist, dass kein ätzender Stoff verschluckt wurde: Erbrechen herbeiführen.

Nach geleisteter Erster Hilfe unverzüglich für ärztliche Behandlung sorgen.

11.3 Häufig vorkommende Gefahrstoffe, deren Gesundheitsgefahren und Maßnahmen zur Ersten Hilfe

Für einige wichtige Gefahrstoffe sind im Folgenden Wirkungen und Symptome sowie Maßnahmen zur Ersten Hilfe aufgeführt. Literatur:

- Information „Erste Hilfe bei Einwirkung gefährlicher chemischer Stoffe“ (GUV-I 8504)
- R. Kühn, K. Birett: „Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe“, Ecomed-Verlag, Landsberg

Die in der Tabelle aufgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen sollen die allgemeinen Maßnahmen ergänzen bzw. erläutern, aber auf keinen Fall die ärztliche Hilfe ersetzen.

Darüber hinaus sind folgende generelle Maßnahmen und Hinweise zur Ersten Hilfe zu beachten:

- Der Ersthelfer muss unbedingt darauf achten, sich selbst zu schützen.
- Den Verletzten aus der Gefahrenzone entfernen.
- Kontaminierte Kleidung ablegen.
- Den Verletzten ruhig lagern und vor Wärmeverlust schützen.
- Erbrechen kann durch Reizung des Kehlkopfzäpfchens mit dem Finger angeregt werden.
- Falls Medizinalkohle verabreicht wird: 3 Esslöffel in 1 Glas Wasser aufschwemmen.
- Bei Bewusstlosen darf keinesfalls Erbrechen angeregt oder Flüssigkeit eingeflößt werden. Auf stabile Seitenlage achten.
- Sauerstoff darf nur durch den Arzt oder Ersthelfer mit Zusatzausbildung mit dafür vorgesehenen Sauerstoffgeräten gegeben werden.

Gefahrstoff	Wirkung / Symptome	Erste Hilfe
Ammoniak	Reizt die Haut und Schleimhäute, ätzend, giftig beim Einatmen.	➧ Augen und Haut mit viel Wasser spülen, ➧ benetzte Kleidung entfernen. ➧ Nach Einatmen Frischluft.
Arsen	Kapillarlähmung. Kreislaufkollaps, nach Staubinhalation Brustschmerz. Nach Verschlucken Magenkrämpfe, blutige Durchfälle, Koliken.	➧ Sofort zum Arzt, ➧ Magenspülung.
Arsenwasserstoff	Methämoglobinbildung. Atemnot, Unwohlsein, Brennen betroffener Körperteile. Mehrstündige Latenzzeit.	➧ Haut und Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Nach Einatmen Frischluft oder Sauerstoff.
Bariumverbindungen	Lähmung der Muskeln, Brechdurchfall. Nur lösliche Bariumverbindungen sind gesundheitsschädlich, nicht dagegen z. B. Bariumsulfat.	➧ Haut und Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Nach Verschlucken Erbrechen anregen und 2 bis 5 %ige Natrium sulfatlösung verabreichen.
Benzol	Geringe Schleimhautreizung, narkotische Wirkung, kann Krebs erzeugen. Kopfschmerz, Schwindel, Erbrechen, Erregungszustände.	➧ Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Haut mit Wasser und Seife waschen. ➧ Nach Einatmen Frischluft. ➧ Nach Verschlucken Medizinalkohle.
Brom	Ätzend für Haut und Schleimhäute. Brennen, Blasenbildung, Husten, Kurzatmigkeit, Erstickungsanfälle. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	➧ Augen und Haut mit viel Wasser spülen (ggf. betroffene Hautstellen mit 3 %iger Natriumthiosulfat lösung waschen). ➧ Nach Einatmen Frischluft.
Chlor	Starkes Reizgas, verätzt Haut und Schleimhäute. Hustenreiz, Erstickungsanfälle. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	➧ Atemschutz des Helfers! ➧ Augen mit viel Wasser spülen, ➧ Haut mit Wasser und Seife waschen. ➧ Nach Einatmen Frischluft.
Chlorwasserstoff (Salzsäuregas)	Starkes Reizgas, verätzt Haut und Schleimhäute. Bei Einatmen (ggf. mit Latenzzeit) Atemnot. Lungenödem möglich.	➧ Augen und Haut mit viel Wasser spülen, ➧ kontaminierte Kleidung entfernen. ➧ Nach Einatmen Frischluft.
Salzsäure	siehe Säuren allgemein	
Chromate	Reizung von Haut und Schleimhäuten, ggf. Verätzung, Geschwürbildung (Eiweißausfällung durch Cr VI). Einige Chromate können Krebs erzeugen.	➧ Augen mit viel Wasser spülen, ➧ Haut mit Wasser und Seife waschen. ➧ Nach Verschlucken Erbrechen auslösen.

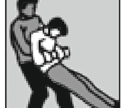
Gefahrstoff	Wirkung / Symptome	Erste Hilfe
Cyanwasserstoff (Blausäure)	Blockierung der Zellatmung. Halskratzen, Schwindel, Atemnot. Gerötetes Gesicht, Bittermandelgeruch der Ausatemluft. Krämpfe, Ohnmacht, Atem- und Herzstillstand. Schnelle Aufnahme über Haut (Schwitzen) möglich.	➧ Atemschutz des Helfers, sofort handeln! ➧ Augen und Haut mit viel Wasser spülen. ➧ Kontaminierte Kleidung entfernen. ➧ Nach Einatmung Frischluft, Beatmung nach Möglichkeit mit Schlauchgerät. ➧ Nach Verschlucken Wasser trinken lassen, Erbrechen anregen, Medizinalkohle geben. ➧ Bei Bewusstlosigkeit 5 ml 4-DMAP (4-Dimethylaminophenol) in die Mitte des Oberschenkels injizieren („Blausäurebesteck“). ➧ Sofortige ärztliche Hilfe!
Fluorwasserstoff (Flusssäure)	Sehr giftig und stark ätzend. Verursacht schwere, tief gehende Verätzungen. Starke Schmerzen oft erst nach Stunden. Mit Latenzzeit Lungenödem möglich.	➧ Schnelles Handeln! ➧ Augen und Haut mit viel Wasser spülen. ➧ Kontaminierte Kleidung entfernen (ggf. Vollbad mit 1 %iger Calciumgluconatlösung). ➧ Calciumgluconatgel auf betroffene Haut auftragen. ➧ Nach Einatmen Frischluft, absolute Ruhe, Wärmeverlust ausgleichen. ➧ Nach Verschlucken kein Erbrechen anregen, Calciumgluconatlösung zum Trinken geben. ➧ Sofort liegend ins Krankenhaus!
Halogenkohlenwasserstoffe (Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethylen usw.)	Sofortwirkung: Euphorie, Verwirrtsein, Narkose, Atemlähmung, Kammerflimmern. Schädigung von Leber, Niere und Gehirn möglich. Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial.	➧ Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Haut mit Wasser und Seife waschen. Kontaminierte Kleidung entfernen. ➧ Nach Einatmen: Frisch luft bzw. Sauerstoff. ➧ Nach Verschlucken Medizinalkohle geben.
Jod	Reizung von Haut und Schleimhäuten, Husten, Schnupfen. Hautkontakt führt zu Depigmentierungen. Nach Verschlucken starke Beschwerden im Magen / Darm-Bereich, Kollaps.	➧ Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Haut mit Wasser und Seife waschen. ➧ Nach Einatmen Frischluft. ➧ Nach Verschlucken: Milch trinken lassen.
Kohlenmonoxid	Blockiert Sauerstofftransport im Blut. Kopfschmerzen, Schwindel, Erbrechen, Ohrensausen, Augenflimmern, Erregungszustände. Hohe Konzentrationen tödlich.	➧ Schnelles Handeln! ➧ Nach Einatmen: Frischluft bzw. Sauerstoff-Beatmung. ➧ Vor Wärmeverlust schützen.

Gefahrstoff	Wirkung / Symptome	Erste Hilfe
Laugen (allgemein)	Je nach Konzentration Reizung oder Verätzung. Rötung, Ekzembildung, Hautdefekte. Besonders gefährlich für die Augen. Nach Verschlucken Gefahr des Magendurchbruchs.	➧ Augen 10–15 Minuten bei geöffnetem Auge ausspülen. ➧ Danach sofort zum Augenarzt (Krankenwagen). ➧ Haut mit viel Wasser abspülen. ➧ Nach Verschlucken viel Wasser trinken lassen. ➧ Erbrechen nicht anregen!
Methanol	Narkose, Azidose, Erblindung. Schwindel, Schwäche, Sehstörungen, Erbrechen, Krämpfe, Bewusstlosigkeit, Latenzzeit beachten. Hautresorption möglich!	➧ Haut u. Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Nach Einatmen: Frisch luft bzw. Sauerstoff,vor Wärmeverlust schützen. ➧ Nach Verschlucken Erbrechen anregen, Medizinalkohle verabreichen, Arzt!
Nitrite	Vergiftungsgefahr durch Methämoglobinbildung. Kopfschmerzen, Übelkeit, Kreislaufkollaps.	➧ Nach Verschlucken Wasser trinken lassen, Erbrechen provozieren.
Nitrose Gase	Reizgas. Hustenreiz, Atemnot, nach mehrstündiger Latenzzeit Lungenödem möglich (Erstickungsanfälle).	➧ Atemschutz des Helfers! ➧ Nach Einatmen Frischluft bzw. Sauerstoff, ruhig lagern. ➧ Wärmeverlust vermeiden. ➧ Ärztliche Überwachung.
Oxalsäure	Gewebe verarmt an Calcium durch Bildung von Calciumoxalat. Stark ätzend, Hautresorption möglich. Nach Einatmen Hustenreiz und Atemnot. Nach Verschlucken Übelkeit und blutiges Erbrechen.	➧ Haut u. Augen mit viel Wasser spülen, ➧ Kontaminierte Kleidung entfernen. ➧ Nach Einatmen: Frischluft bzw. Sauerstoff. ➧ Nach Verschlucken: viel Wasser, ggf. Calciumgluconatlösung trinken lassen.
Phosgen	Reizgas. Husten- und Tränenreiz, Druckgefühl in der Brust, nach mehrstündiger Latenzzeit Lungen ödem möglich (Erstickungsgefahr).	➧ Atemschutz des Helfers! ➧ Nach Einatmen Frischluft. ➧ Ruhig lagern, ➧ Wärmeverlust vermeiden. ➧ Ärztliche Überwachung!
Schwefelwasserstoff	Reizt stark die Schleimhäute, Nervengift. Reizhusten, Benommenheit, Atemnot. Bei höheren Konzentrationen Lähmung des Geruchsinns. Lungenödem möglich.	➧ Atemschutz des Helfers! ➧ Bei Haut- und Augenkontakt mit viel Wasser spülen. ➧ Unbedingt Augenarzt aufsuchen (Hornhautschädigung). ➧ Nach Einatmen: Frischluft, besser Sauerstoff. ➧ Ärztliche Überwachung.

Gefahrstoff	Wirkung / Symptome	Erste Hilfe
Säuren (allgemein)	Je nach Konzentration Reizung oder Verätzung. Nach Verschlucken Gefahr des Magen- und Speiseröhrendurchbruchs. Bei Resorption großer Mengen Ansäuerung des Blutes (Azidose).	➧ Auge: bei geöffnetem Auge 10–15 Minuten spülen. ➧ Danach sofort zum Augenarzt (Krankenwagen). ➧ Haut gut mit Wasser abspülen. ➧ Nach Verschlucken viel Wasser trinken lassen, keine Neutralisationsversuche! ➧ Kein Erbrechen provozieren!
Salpetersäure	Vgl. Säuren allgemein, Bildung nitroser Gase möglich (siehe nitrose Gase).	
Silbernitrat	Ätzend insbesondere für Augen- und Atemwege. Schwarzfärbung, ggf. Geschwürbildung der Haut. Brennen der Schleimhäute, Durchfall.	➧ Augen u. Haut mit viel Wasser spülen. ➧ Nach Verschlucken 10 %ige Kochsalzlösung trinken, ➧ Erbrechen provozieren, mit viel Wasser Mund und Rachen ausspülen.
Toluol	Reizt Augen und Schleimhäute, wirkt narkotisch. Kopfschmerz, Schwindel, Übelkeit, Bewusstlosigkeit, Atemlähmung.	➧ Augen mit viel Wasser spülen. ➧ Haut mit viel Wasser und Seife reinigen. ➧ Nach Einatmen: Frischluft. ➧ Nach Verschlucken: Gabe von Medizinalkohle.
Thallium	Schleichender Verlauf der Vergiftung. Erbrechen, Überempfindlichkeit der Sinnes- und Gefühlsnerven, Haarausfall.	➧ Nach Verschlucken: Erbrechen anregen, Gabe von Medizinalkohle, Arzt!

11.4 Sofortmaßnahmen bei Unfällen

1.



Retten

- Verletzte unter Selbstschutz aus Gefahrenbereich bringen
- Alarmieren weiterer Personen im Gefahrenbereich
- Gegebenenfalls Abschalten von Gas, Wasser, Strom

2.



Hilfe anfordern

Notruf-Nr. / Zimmer-Nr. / Adresse eintragen

Ersthelfer:

Notarzt:

Feuerwehr:

Giftzentrale:

Augenarzt:

Chirurgische Ambulanz:

Notrufangaben:

Wo geschah es?

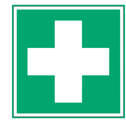
Was geschah?

Wie viele Verletzte?

Welche Verletzungen?

Warten auf Rückfragen!

3.



Erste Hilfe leisten

Wer fachkundig Erste Hilfe leisten will, muss als Ersthelfer aus- und fortgebildet sein.

Zur Beachtung:

- Ein interner Unfallbericht muss bei jedem Unfall, d. h. auch bei einem, der nicht der ärztlichen Behandlung bedarf, abgegeben werden (Geschäftszimmer).
- Eine Unfallanzeige an den zuständigen Unfallversicherungsträger muss dann abgegeben werden, wenn ein Versicherter getötet oder so verletzt ist, dass er ärztliche Behandlung in Anspruch nehmen muss.

Ein **Formblatt** zum persönlichen Gebrauch ist auf der letzten Seite dieser Broschüre abgedruckt.

Anhang A

Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (KMR-Verzeichnis)

Das nachstehende Verzeichnis
(Stand: **Juni 2009**) enthält Stoffe, die

- im Anhang I der EG-Richtlinie 67/548/EWG (Stand 31. Anpassung) als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend eingestuft sind oder
- in der TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ aufgeführt werden.

Die Einträge in den Spalten bedeuten:

Krebserzeugend

K1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.
(R45: Kann Krebs erzeugen) oder (R49: Kann Krebs erzeugen beim Einatmen)

K2 Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann.
(R45 oder R49)

Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
- geeignete Langzeit-Tierversuche,
- sonstige relevante Informationen.

K3 Stoffe, die wegen möglicher krebserregender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch ungenügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um einen Stoff in Kategorie 2 einzustufen.
(R40: Verdacht auf krebserzeugende Wirkung)

Erbgutverändernd

M1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen erbgutverändernd wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und vererbbaren Schäden vorhanden.
(R46: Kann vererbbare Schäden verursachen)

M2 Stoffe, die als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu vererbbaren Schäden führen kann (R46). Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
- geeignete Langzeit-Tierversuche,
- sonstige relevante Informationen.

M3 Stoffe, die wegen möglicher erbgutverändernder Wirkung auf den Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Aus geeigneten Mutagenitätsversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in Kategorie 2 einzustufen.
(R68: Irreversibler Schaden möglich)

Fortpflanzungsgefährdend

R_F Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit)

R_E Fruchtschädigend (entwicklungsschädigend)

R_F1 Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) bekanntermaßen beeinträchtigen. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit vorhanden.

R_E1 Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition einer schwangeren Frau gegenüber dem Stoff und schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung der direkten Nachkommenschaft vorhanden.

R_F2 Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- eindeutige tierexperimentelle Nach weise einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit ohne Vorliegen anderer toxischer Wirkungen, oder Nachweis einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit bei etwa denselben Dosierungen, bei denen andere toxische Effekte auftreten, wobei jedoch die beobachtete fruchtbarkeitsbeeinträchtigende Wirkung nicht sekundäre unspezifische Folge der anderen toxischen Effekte ist.

- (R60: Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen)

R_E2 Stoffe, die als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition einer schwangeren Frau gegenüber dem Stoff zu schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung der Nachkommenschaft führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- eindeutige Nachweise aus Tierversuchen, in denen eine fruchtschädigende Wirkung ohne Anzeichen ausge-

prägter maternaler Toxizität beobachtet wurde, oder fruchtschädigende Wirkungen in einem Dosisbereich mit maternal toxischen Effekten, wobei jedoch die fruchtschädigende Wirkung nicht sekundäre Folge der maternalen Toxizität ist;

- sonstigen relevanten Informationen. (R 61)

R_F3 Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- Ergebnisse aus geeigneten Tierversuchen, die hinreichende Anhaltspunkte für den starken Verdacht auf eine Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit in einem Dosisbereich ohne Vorliegen anderer toxischer Wirkungen liefern, oder entsprechende Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit in einem Dosisbereich, in dem andere toxische Effekte auftreten, wobei jedoch die beobachtete Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit nicht sekundäre unspezifische Folge der anderen toxischen Wirkungen ist und der Nachweis der Befunde für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 2 nicht ausreicht;

- sonstigen relevanten Informationen. (R 62: Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen)

R_E3 Stoffe, die wegen möglicher fruchtschädigender (entwicklungsschädigender) Wirkungen beim Menschen zu Besorgnis Anlass geben. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- Ergebnisse aus geeigneten Tierversuchen, die hinreichende Anhaltspunkte für einen starken Verdacht auf eine fruchtschädigende Wirkung ohne ausgeprägte maternale Toxizität liefern, bzw. die solche Anhaltspunkte in maternal toxischen Dosisbereichen liefern, wobei jedoch die beobachtete fruchtschädigende Wirkung nicht sekundäre Folge der maternalen Toxizität ist und der Nachweis der Befunde für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 2 nicht ausreicht;

- sonstigen relevanten Informationen. (R 63: Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen)

* Die mit Stern gekennzeichneten Bewertungen wurden der TRGS 905 entnommen. Diese nationalen Bewertungen durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) erfolgen zum Schutz der Beschäftigten am Arbeitsplatz, so dass der Arbeitgeber die erforderlichen Maßnahmen treffen kann. Eine EG-Legaleinstufung für diese Stoffe wird angestrebt. Sofern für einen Stoff bereits eine EG-Legaleinstufung vorliegt, muss diese bis zur Neueinstufung des Stoffes durch die EG-Kommission beim Inverkehrbringen angegeben werden. Die Bewertung durch den AGS ist in diesen Fällen bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.

... Aufgrund der vorliegenden Daten konnte eine Zuordnung zu den Kategorien 1 bis 3 Anhang VI der Richtlinie 67/548/EWG nicht vorgenommen werden.

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Acetaldehyd	75-07-0	3			
Acetamid	60-35-5	3			
Acetophenon, Formaldehyd, Cyclohexylamin, Methanol und Essigsäure, Reaktionsprodukt von		3			
N-[2-(3-Acetyl-5-nitrothiophen-2-ylazo)-5 -diethylaminophenyl]acetamid					3
Acrylaldehyd	107-02-8	...	...	...	...
Acrylamid	79-06-1	2	2		3
Acrylnitril	107-13-1	2			
Alachlor	15972-60-8	3			
Aldrin (ISO)	309-00-2	3			
5-Allyl-1,3-benzodioxol	94-59-7	2	3		
4-Allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis (2,3 epoxypropyl)phenoxy) -2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)phenoxy]-2-hy droxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)phe noxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl) phenol; 4-Allyl-6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3 epoxypropyl)phenoxy) -2-hydroxypropyl]-2 (2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3 (4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl) phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxy propyl)phenol, Gemisch aus			3		
1-Allyloxy-2,3-epoxypropan	106-92-3	2* 3	3	...	3
4-Aminoazobenzol	60-09-3	2			
4-Aminobiphenyl	92-67-1	1			
4-Aminobiphenyl, Salze von		1			
1-(2-Amino-5-chlorphenyl)-2,2,2-trifluor-1,1-ethandiol, Hydrochlorid; [Gehalt an 4-Chloranilin < 0,1 %]	214353-17-0	2			
(R,S)-2-Amino-3,3-dimethylbutanamid	144177-62-8				3
6-Amino-2-ethoxynaphthalin		2*			
2-(2-Aminoethylamino)ethanol	111-41-1			2	3
3-Amino-9-ethylcarbazol	132-32-1	2			
4-Amino-3-fluorphenol	399-95-1	2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naph thyl)azo]-2,5-di-ethoxyphenyl)azo]-2-[(3 phosphonophenyl)azo]benzoesäure und 5 [(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]-3-[(3-phos phonophenyl)azo]benzoesäure, Gemisch aus	163879-69-4				3
o-Aminophenol	95-55-6		3		
p-Aminophenol	123-30-8		3		
Amitrol (ISO)	61-82-5	...		3	
(6R-trans)-1-((7-Ammonio-2-carboxylato-8-oxo-5-thia-1-azabicyclo-[4.2.0]oct-2-en-3-yl)methyl)pyridiniumiodid	100988-63-4		3		
2-{4-(2-Ammoniopropylamino)-6-[4-hydroxy-3-(5-methyl-2-methoxy-4-sulfamoylphenylazo)-2-sulfonatonaphth-7-ylamino]-1,3,5-triazin-2-ylamino}-2-aminopropylhydroformiat					3
Ammoniumdichromat	7789-09-5	2	2	2	2
Ammoniumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure					
Anabolika (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Androgene (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Androgene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
Androsta-1,4,9(11)-trien-3,17-dion	15375-21-0				3
Anilin	62-53-3	3	3	...	...
Anilin, Salze von		3	3		
Antu (ISO)	86-88-4	3			
Arsenige Säure	36465-76-6	1*			
Arsensäure	7778-39-4	1			
Arsensäure, Salze, soweit nicht in der Liste namentlich benannt		1			
Arzneistoffe, krebserzeugende (siehe TRGS 905)					
Asbest		1			
Atrazin	1912-24-9	...	...		
Azafenidin	68049-83-2			2	3
Azobenzol	103-33-3	2	3	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Azo-Farbstoffe Azofarbstoffe mit einer krebserzeugender Aminkomponente (R 45). Zubereitungen von Azofarbstoffen mit einer krebserzeugender Aminkomponente der Kategorie 1 oder 2 sind nach § 3 Abs. 2 GefStoffV und TRGS 905 Nr. 4 entsprechend ihrem Gehalt an potentiell durch reduktive Azospaltung freisetzbarem krebserzeugenden Amin und dem Gehalt des Azofarbstoffes in der Zubereitung als krebserzeugend einzustufen (R 45).		1* oder 2			
Azofarbstoffe auf Benzidinbasis, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten		2			
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethoxybenzidinbasis		2			
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethylbenzidinbasis		2			
Benfuracarb (ISO)	82560-54-1				3
Benomyl (ISO)	17804-35-2		2	2	2
Benzidin	92-87-5	1			
Benzidin, Salze von		1			
Benzo[a]anthracen	56-55-3	2			
Benzo[b]fluoranthen	205-99-2	2			
Benzo[j]fluoranthen	205-82-3	2			
Benzo[k]fluoranthen	207-08-9	2			
Benzol	71-43-2	1	2		
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_6-$_8$-verzweigte Alkylester, C_7-reich Di-iso-heptylphthalat	71888-89-6	...	...	2	3
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_7-$_9$-verzweigte und lineare Alkylester	68515-42-3	...	...	3*	...
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_7-$_{11}$-verzweigte und lineare Alkylester	68515-42-4	...	...	2	3
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_9-$_{11}$-verzweigte und lineare Alkylester	68515-43-5	...	...	3*	...
1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester, verzweigt und linear n-Pentyl-isopentylphthalat Di-n-pentylphthalat Diisopentylphthalat (DIPP)	84777-06-0 131-18-0 605-50-5	...	...	2	2
Benzo[a]pyren	50-32-8	2	2	2	2
Benzo[e]pyren	192-97-2	*2*			
Benzoylchlorid	98-88-4	...	...	...	...
Benzylbutylphthalat	85-68-7	...	...	2	3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Benzyl-2,4-dibrombutanoat	23085-60-1				3
Benzyl violet 4B	1694-09-3	3			
Bernsteinsäure, Monoperbernsteinsäure, Diperbernsteinsäure, Monomethylester von Bernsteinsäure, Monomethylester von Perbernsteinsäure, Dimethylsuccinat, Glutarsäure, Monoperglutarsäure, Diperglutarsäure, Monomethylester von Glutarsäure, Monomethylester von Perglutarsäure, Dimethylglutarat, Adipinsäure, Monoperadipinsäure, Diperadipinsäure, Monomethylester von Adipinsäure, Monomethylester von Peradipinsäure, Dimethyladipat, Hydrogenperoxid, Methanol und Wasser, Gemisch aus			3		
Beryllium	7440-41-7	2 R49			
Berylliumverbindungen, ausgenommen Beryllium-Tonerdesilikate sowie namentlich genannte		2 R49			
Berylliumoxid	1304-56-9	2 R49			
Binapacryl	485-31-4			2	
Biphenyl-2-ylamin	90-41-5	3			
(7-(4,6-Bis-(2-ammoniopropylamino)-1,3,5-triazin-2-ylamino)-4-hydroxy-3-((2-methoxyphenyl)azo)naphthalin-2-sulfonato)-monoformiat	108225-03-2	2			
4,4‘-Bis(N-carbamoyl-4-methylbenzolsulfonamid) diphenylmethan	151882-81-4	3			
Bis(chlormethyl)ether	542-88-1	1			
Bis(cyclopenta-1,3-dienid-bis(2,6-difluor-3-(1H-pyrrol-1-yl)-phenolid)titan(IV)	125051-32-3				3
6,6‘-Bis(diazo-5,5‘,6,6‘-tetrahydro-5,5‘-dioxo)[methylenbis (5-(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxo-1-naphthylsulphonyloxy)-6-methyl-2-phenylen]di(naphthalen-1-sulfonat)		3			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol	101-90-6	2* 3	3		
Bis(2-ethylhexyl)phthalat DEHP	117-81-7	…	…	2	2
4-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]methyl]-4H-1,2,4-triazol; 1-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]methyl]-1H-1,2,4-triazol, Gemisch aus		3		2	
Bis(hydroxylammonium)sulfat Hydroxylaminsulfat (2:1)	10039-54-0	3			
4,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, 4,8-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol und 5,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, Gemisch aus					3
1,2-Bis(2-methoxyethoxy)ethan	112-49-2	…	…	2	3 2*
Bis(2-methoxyethyl)ether	111-96-6			2	2
Bis(2-methoxyethyl)phthalat	117-82-8			2	3
Bis(pentabromphenyl)ether	1163-19-5	3*	…	…	…
Bis(tributylzinn)oxid	56-35-9			3*	2*
1,3-Bis(vinylsulfonylacetamido)propan	93629-90-4		3		
Blei-Metall (bioverfügbar)	7439-92-1			1*	3*
Bleiverbindungen mit Ausnahme der namentlich bezeichneten				1	3
Bleiacetat, basisch	1335-32-6	3		1	3
Bleialkyle, $Pb(C_nH_{2n+1})_x$ (n = 1-5)				1	3
Bleiazid	13424-46-9			1	3
Bleichromat	7758-97-6	2		1	3
Bleichromatmolybdatsulfatrot	12656-85-8	2		1	3
Bleidiacetat	301-04-2			1	3
Bleihexafluorsilikat	25808-74-6			*1*	*3*
Bleihydrogenarsenat	7784-40-9	*1*		*1*	*3*
Blei(II)methansulfonat	17570-76-2			*1*	*3*
Bleisulfochromatgelb	1344-37-2	2		1	3
Bleitetraethyl	78-00-2			1	3
Bleitetramethyl	75-74-1			1	3
Blei-2,4,6-trinitroresorcinat	15245-44-0			1	3
Borsäure Borsäure, roh, nicht mehr als 85 % H_3BO_3 enthaltend	10043-35-3 11113-50-1			2	2

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan	151-67-7			2*	...
Bromethan	74-96-4	2* 3			
Bromethen	593-60-2	2			
Brommethan	74-83-9	...	3	...	...
1-Brom-2-methylpropylpropionat	158894-67-8	3			
(R)-5-Brom-3-(1-methyl-2-pyrrolidinylmethyl)-1H-indol	143322-57-0				3
Bromoxynil (ISO)	1689-84-5			3	
Bromoxynil-Heptanoat	56634-95-8			3	
1-Brompropan	106-94-5	...	...	3	2
2-Brompropan	75-26-3				1
1-Brom-3,4,5-trifluorbenzol	138526-69-9	3			
1,3-Butadien	106-99-0	1	2		
n-Butan, enthält ≥ 0,1% Butadien	106-97-8	1	2		
iso-Butan, enthält ≥ 0,1% Butadien	75-28-5	1	2		
2-Butanonoxim	96-29-7	3			
1,4-Butansulton	1633-83-6	3*			
2,4-Butansulton	1121-03-5	2*			
2-Butenal	4170-30-3 123-73-9	...	3	...	...
1-Butoxy-2,3-epoxypropan	2426-08-6	3	2* 3	...	...
1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan	7665-72-7	...	3*	...	...
4‘-tert-Butyl-2‘,6‘-dimethyl-3‘,5‘-dinitroacetophenon, Musk Ketone	81-14-1	3	...	...	...
2-(4-tert-Butylphenyl)ethanol	5406-86-0				3
5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol, Musk Xylene Xylolmoschus	81-15-2	3	...	...	...
2-Butyryl-3-hydroxy-5-thiocyclohexan-3-yl-cyclohex-2-en-1-on	94723-86-1				2
5-(3-Butyryl-2,4,6-trimethylphenyl)-2-[1-(ethoxyimino)propyl]-3-hydroxycyclohex-2-en-1-on	138164-12-2			3	3
Cadmium	7440-43-9	2	3	3	3
Cadmiumchlorid	10108-64-2	2	2	2	2
Cadmiumcyanid	542-83-6	2*			
Cadmiumfluorid	7790-79-6	2	2	2	2

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Cadmiumformiat	4464-23-7	2*			
Cadmiumhexafluorosilikat	17010-21-8	2*			
Cadmiumiodid	7790-80-9	2*			
Cadmiumoxid	1306-19-0	2	3	3	3
Cadmiumsulfat	10124-36-4	2	2	2	2
Cadmiumsulfid	1306-23-6	2	3	3	3
Cadmiumverbindungen, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/ Aerosole)		2*			
Calciumchromat	13765-19-0	2			
Calciumsalicylate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); geschwefelte Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert), Gemisch aus:					3
Camphechlor	8001-35-2	3			
Captafol (ISO)	2425-06-1	2			
Captan	133-06-2	3			
Carbadox (INN)	6804-07-5	2			
Carbaryl	63-25-2	3			
Carbendazim (ISO)	10605-21-7		2	2	2
[μ-[Carbonato(2-)-O:O']]dihydroxytrinickel s. Nickelcarbonat	65405-96-1				
[Carbonato(2-)]tetrahydroxytrinickel s. Nickelcarbonat	12607-70-4				
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin)	492-80-8	2* 3	3*	...	...
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin), Herstellung von (s.u. TRGS 906)					
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin), Salze von (außer Hydrochlorid)		3			
4,4'-Carbonimidoylbis-(N,N-dimethylanilin)-Hydrochlorid	2465-27-2	2* 3	3*	...	...
2-Chloracetaldehyd	107-20-0	3	...	...	...
2-Chloracetamid	79-07-2	...	...	...	3
Chloralkane, C_{10-13}, Cl_{1-13}	85535-84-8	3			
cis-1-(3-Chlorallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantanchlorid	51229-78-8			3	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
4-Chloranilin	106-47-8	2			
4-Chlorbenzotrichlorid	5216-25-1	2	...	...	3 2*
2-Chlor-1,3-butadien	126-99-8	2	...	...	...
Chlordan (ISO)	57-74-9	3			
Chlordecone (ISO)	143-50-0	3			
5-Chlor-1,3-dihydro-2H-indol-2-on	17630-75-0				3
Chlordimeform (ISO)	6164-98-3	3			
Chlordimeformhydrochlorid	19750-95-9	3			
Chlor-N,N-dimethylformiminiumchlorid	3724-43-4			2	
1-Chlor-2,3-epoxypropan	106-89-8 51594-55-9	2			
Chlorethan	75-00-3	3			
Chlor-1-ethylcyclohexylcarbonat	99464-83-2		3		
(2-Chlorethyl)(3-hydroxypropyl)ammoniumchlorid	40722-80-3	2	2		
6-(2-Chlorethyl)-6-(2-methoxyethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan	37894-46-5			2	
3-Chlor-4-(3-fluorbenzyloxy)anilin	202197-26-0		3		
Chlorfluormethan	593-70-4	2*			
2-Chlor-6-fluor-phenol	2040-90-6		2		3
(3-Chlor-2-hydroxypropyl)trimethylammoniumchlorid	3327-22-8	3	...	...	...
Chlormethan	74-87-3	3			
Chlormethylmethylether	107-30-2	1			
3-Chlor-2-methylpropen	563-47-3	3*			
1-Chlor-2-nitrobenzol	88-73-3	3*	...	...	3*
1-Chlor-4-nitrobenzol	100-00-5	3	3	...	...
1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-3-(1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-pentan-3-ol	107534-96-3			3	
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyluroniumtrichloracetat	140-41-0	3			
(2RS, 3SR)-3-(2-Chlorphenyl)-2-(4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4-triazol-1-yl)methyl]oxiran	133855-98-8	3		3	3
4-[(3-Chlorphenyl)(1H-imidazol-1-yl)methyl]-1,2-benzoldiamin-dihydrochlorid	159939-85-2				3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
(3-Chlorphenyl)-(4-methoxy-3-nitrophenyl)methanon	66938-41-8		3		
3-Chlorpropen	107-05-1	3	3		
Chlorpropham (ISO); Isopropyl 3-chlorcarbanilat	101-21-3	3			
Chlorthalonil	1897-45-6	3			
4-Chlor-o-toluidin	95-69-2	1* 2	3		
4-Chlor-o-toluidin, Hydrochlorid	3165-93-3	1* 2	3		
5-Chlor-o-toluidin	95-79-4	3*			
α-Chlortoluole - Gemisch		1*			
α-Chlortoluol	100-44-7	2	3*	3*	...
Chlortoluron	15545-48-9	3		3	
Chlozolinate	84332-86-5	3			
Chrom(III)chromat	24613-89-6	2			
Chromoxychlorid	14977-61-8	2 R49	2		
Chromtrioxid	1333-82-0	1	2		3
Chrom(VI)-Verbindungen, mit Ausnahme von Bariumchromat und der namentlich bezeichneten		2 R49			
Chrysen	218-01-9	2	3		
Chrysoidin, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin	495-54-5	...	3		
Chrysoidinmonohydrochlorid; 4-Phenylazophenylen-1,3-diaminmonohydrochlorid Chrysoidinmonoacetat, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diaminmonoacetat Chrysoidinacetat, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diaminacetat Chrysoidin-p-dodecylbenzolsulfonat, Dodecylbenzolsulfon- säure, Verbindung mit 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin (1:1) Chrysoidindihydrochlorid, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamindihydrochlorid Chrysoidinsulfat, Bis[4-(phenylazo)benzol-1,3-diamin]sulfat	532-82-1 75660-25-2 79234-33-6 63681-54-9 83968-67-6 84196-22-5		3		
Chrysoidin-C10-14-Alkylderivate Benzolsulfonsäure, Mono-C10-14-alkylderivate, Verbindungen mit 4-(Phenylazo)-1,3-benzoldiamin Chrysoidin, Verbindung mit Dibutylnaphthalinsulfonsäure Dibutylnaphthalinsulfonsäure, Verbindung mit 4-(Phenylazo) benzol-1,3-diamin (1:1)	85407-90-5 94247-67-3		3		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
C.I. Basic Red 9	569-61-9	2	...	...	...
C.I. Basic Violet 3 (Kristallviolett)	548-62-9	3	...	...	...
C.I. Basic Violet 3 mit ≥ 0,1 % Michlers Keton	548-62-9	2			
C.I. Direct Blue 218	73070-37-8	3*	...	...	...
Cinidonethyl (ISO)	142891-20-1	3			
Cobalt, Metall (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/ Aerosole) ausgenommen Hartmetalle	7440-48-4	3*	...	...	...
Cobalt(II)acetat	71-48-7 6147-53-1	2 R49	3	...	2
Cobaltcarbonat	513-79-1	2 R49	3	...	2
Cobaltdichlorid	7646-79-9	2 R49	3	...	2
Cobalt-Lithium-Nickeloxid		1 R49			
Cobalt-Nickel-Gray-Periklas; C.I. Pigment schwarz 25; C.I. 77332; Cobalt-Nickel-Dioxid; Cobalt-Nickel-Oxid	68186-89-0 58591-45-0 12737-30-3	1 R49			
Cobalt(II)nitrat	10141-05-6 10026-22-9	2 R49	3	...	2
Cobaltoxid (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	1307-96-6	3*	...	...	...
Cobaltsulfat	10124-43-3	2 R49	3	...	2
Cobalt(II)sulfat-Heptahydrat	10026-24-1	2 R49	3	...	2
Cobaltsulfid (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole)	1317-42-6	3*	...	...	...
Cobaltverbindungen (bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/ Aerosole), ausgenommen die namentlich genannten sowie Cobalt-haltige Spinelle und organische Cobalt-Sikkative		3*	...	...	...
Colchicin	64-86-8		2		
Cristobalit (s.u. TRGS 906)	14464-46-1				
4-Cyan-2,6-diiodophenyloctanoat	3861-47-0			3	
Cyclohexanon	108-94-1	...			
Cycloheximid	66-81-9		3	2	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	**M**	**R_E**	**R_F**
Cyclohexylamin	108-91-8				3
N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5-dimethyl-3-furamid	60568-05-0	3			
trans-4-Cyclohexyl-L-prolinmonohydrochlorid	90657-55-9				3
1-Cyclopropyl-6,7-difluor-1,4-dihydro-4-oxochinolin-3-carbonsäure	93107-30-3				3
Cyproconazol	94361-06-5			3	
Daminozid	1596-84-5	...			
DDT	50-29-3	3			
N,N'-Diacetylbenzidin	613-35-4	2	3		
Diallat (ISO)	2303-16-4	3			
2,4-Diaminoanisol-sulfat	615-05-4 39156-41-7	2	3		
3,3'-Diaminobenzidin	91-95-2	2	3		
3,3'-Diaminobenzidin, Salze von		3*			
4,4'-Diaminodiphenylmethan	101-77-9	2	3		
Diammonium-1-hydroxy-2-(4-(4-carboxyphenylazo)-2,5-dimethoxyphenylazo)-7-amino-3-naphthalinsulfonat					3
Diammoniumnickelhexacyanoferrat	74195-78-1	1 R49			
Diantimontrioxid	1309-64-4	3			
Diarsenpentaoxid	1303-28-2	1			
Diarsentrioxid	1327-53-3	1			
Diazomethan	334-88-3	2			
Dibenz[a,h]anthracen	53-70-3	2			
Dibortrioxid	1303-86-2			2	2
1,2-Dibrom-3-chlorpropan	96-12-8	2	2	...	1
2,6-Dibrom-4-cyanphenyloctanoat	1689-99-2			3	
1,2-Dibromethan	106-93-4	2			
2,2-Dibrom-2-nitroethanol	69094-18-4	3			
2,3-Dibrompropan-1-ol	96-13-9	2	...	...	3
Dibutylphthalat DBP	84-74-2	...	...	2	2* 3
Dibutylzinndichlorid	683-18-1		3	2	2

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Dibutylzinnhydrogenborat	75113-37-0		3	2	2
Dichloracetylen	7572-29-4	2* 3			
3,3‘-Dichlorbenzidin	91-94-1	2			
3,3‘-Dichlorbenzidin, Salze von		2			
1,4-Dichlorbenzol	106-46-7	3	...		
2,2‘-[(3,3‘-Dichlor[1,1‘-biphenyl]-4,4‘-diyl)bis(azo)]bis[N-(2,4-dimethylphenyl)]-3-oxo-butanamid; 2-[[3,3‘-Dichlor-4‘-[[1[[(2,4-dimethylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1‘-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-methylphenyl)-3-oxo-butanamid; 2-[[3,3‘-Dichlor-4‘-[[1[[(2,4-dimethylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1‘-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-carboxylphenyl)-3-oxo-butanamid, Gemisch aus		3			
1,4-Dichlorbut-2-en	764-41-0	2			
2,2’-Dichlordiethylether	111-44-4	3			
2,2‘-Dichlordiethylsulfid	505-60-2	1*			
3,5-Dichlor-N-(1,1-dimethylprop-2-inyl)benzamid	23950-58-5	3			
1,2-Dichlorethan	107-06-2	2			
1,1-Dichlorethen	75-35-4	3			
Dichlormethan	75-09-2	3			
1,2-Dichlormethoxyethan	41683-62-9	...	3*	...	...
2,2'-Dichlor-4,4'-methylendianilin	101-14-4	2			
2,2'-Dichlor-4,4'-methylendianilin, Salze von		2			
3-(3,5-Dichlorphenyl)-2,4-dioxo-N-isopropylimidazolidin-1-carboxamid	36734-19-7	3			
(±)-2-(2,4-Dichlorphenyl)-3-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)propyl-1,1,2,2-tetrafluorethylether	112281-77-3	...			
1,2-Dichlorpropan	78-87-5	...	...	...	...
1,3-Dichlor-2-propanol	96-23-1	2			
1,3-Dichlorpropen (cis- und trans-)	542-75-6	2*	3*	...	...
2,3-Dichlorpropen	78-88-6		3		
α,α-Dichlortoluol	98-87-3	3			
2,2-Dichlor-1,1,1-trifluorethan	306-83-2	3*	...	...	...
Dicyclohexylnitrosamin	947-92-2	...	3*	...	...
Dieldrin (ISO)	60-57-1	3			
1,2,3,4-Diepoxybutan	1464-53-5	2	2	...	3*

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Dieselmotor-Emissionen		2*			
Diester von 4,4‘-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:2),Triester von 4,4‘-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:3), Gemisch aus		3			
Diethanolaminperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure					
1,2-Diethoxyethan	629-14-1			2	3
Diethylcarbamidsäurechlorid	88-10-8	3			
Diethylsulfat	64-67-5	2	2		
1,1-Difluorethen	75-38-7	3*			
Diglycidylether	2238-07-5	3*			
N,N’-Dihexadecyl-N,N’-bis(2-hydroxyethyl)propandiamid	149591-38-8				3
N-[6,9-Dihydro-9-[[2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethoxy]methyl]-6-oxo-1H-purin-2-yl]acetamid	84245-12-5	2	2	2	2
(S)-2,3-Dihydro-1H-indol-2-carbonsäure	79815-20-6				3
1,4-Dihydroxybenzol	123-31-9	3	3	...	...
4-[4-(1,3-Dihydroxyprop-2-yl)phenylamino]-1,8-dihydroxy-5-nitroanthrachinon	114565-66-1	3			
Diisobutylphthalat	84-69-5			2	3
2,4-Diisocyanattoluol	584-84-9	3			
2,6-Diisocyanattoluol	91-08-7	3			
Reaktionsprodukte von Diisopropanolamin mit Formaldehyd (1:4)	220444-73-5	3			
3,3‘-Dimethoxybenzidin	119-90-4	2			
3,3‘-Dimethoxybenzidin, Salze von		2			
1,2-Dimethoxyethan	110-71-4	...	...	2	2
N,N-Dimethylacetamid	127-19-5			2	3*
(E)-3-[1-[4-[2-(Dimethylamino)ethoxy]phenyl]-2-phenylbut-1-enyl]phenol	82413-20-5	3			2
N,N-(Dimethylamino)thioacetamid-hydrochlorid	27366-72-9			2	
N,N-Dimethylanilin	121-69-7	3	...	...	...
N,N-Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorphenyl)borat	118612-00-3	3			
3,3'-Dimethylbenzidin	119-93-7	2			
3,3'-Dimethylbenzidin, Salze von		2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Dimethylcarbamoylchlorid	79-44-7	2			
N,N-Dimethylformamid	68-12-2			2	
1,2-Dimethylhydrazin	540-73-8	2			
N,N-Dimethylhydrazin	57-14-7	2			
Dimethylhydrogenphosphit	868-85-9	3*			
Dimethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Diethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Methylethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat, Gemisch aus		2	2		
Dimethylsulfamoylchlorid	13360-57-1	2			
Dimethylsulfat	77-78-1	2	3		
Dimoxystrobin (ISO); (E)-2-(Methoxyimino)-N-methyl-2-[α-(2,5-xylyloxy)-o-tolyl]acetamid	149961-52-4	3		3	
Dinatrium-4-amino-3-[[4'-[(2,4-diaminophenyl)azo] [1,1'-biphenyl]-4-yl]azo]-5-hydroxy-6-(phenylazo)naphthalin-2,7-disulfonat	1937-37-7	2		3	
Dinatrium-3,3'-[[1,1'-biphenyl]-4,4'-diylbis(azo)]bis(4-amino-naphthalin-1-sulfonat)	573-58-0	2		3	
Dinatrium-[5-[(4'-((2,6-dihydroxy-3-((2-hydroxy-5-sulfophenyl)azo)phenyl)azo)(1,1'-biphenyl)-4-yl)azo]salicylato(4-)]cuprat(2-)	16071-86-6	2			
Dinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-hydroxy-1-(4-sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)benzolsulfonat und Trinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-oxido-1-(4-sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)benzolsulfonat, Gemisch aus				2	
Dinatriumtetraborat, wasserfrei -Decahydrat -Pentahydrat	1330-43-4 1303-96-4 12179-04-3			2	2
Dinickeldiphosphat s. Nickelhydrogenphosphat					
Dinickelhexacyanoferrat	14874-78-3	1 R49			
Dinickeltrioxid	1314-06-3	1 R49			
Dinitronaphthaline, alle Isomeren	27478-34-8	3*			
2,3-Dinitrotoluol	602-01-7	2	3		3
2,4-Dinitrotoluol	121-14-2	2	3		3
2,5-Dinitrotoluol	619-15-8	2	3		3

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
2,6-Dinitrotoluol	606-20-2	2	3		3
3,4-Dinitrotoluol	610-39-9	2	3		3
3,5-Dinitrotoluol	618-85-9	2	3		3
Dinitrotoluole, (techn. Isomerengemische)	25321-14-6	2	3	...	3
Dinocarb	39300-45-3			2	
Dinoseb	88-85-7			2	3
Dinoseb, Salze und Ester, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten				2	3
Dinoterb	1420-07-1			2	
Dinoterb, Salze und Ester des				2	
1,4-Dioxan	123-91-1	3			
1,3-Diphenylguanidin	102-06-7				3
Diphosphorsäure, Nickel(II)-Salz s. Nickelhydrogenphosphat					
Diuron	330-54-1	3			
Divanadiumpentoxid	1314-62-1		3	3	
DNOC	534-52-1		3		
Dodecachlorpentacyclo[5.2.1.0^{2,6}.0^{3,9}.0^{5,8}]decan	2385-85-5	3		3	3
Edifenphos	17109-49-8		...		
1,2-Epoxybutan	106-88-7	2* 3			
1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan	106-87-6	2* 3			
1,2-Epoxy-3-phenoxypropan	122-60-1	2	3		
2,3-Epoxy-1-propanol R-2,3-Epoxy-1-propanol	556-52-5 57044-25-4	2	3	...	3
1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan	26447-14-3 2186-24-5 2186-25-6 2210-79-9	3*	3		
Erionit	12510-42-8	1			
Estrogene (Steroidhormone)		3*	...	3*	1*
Estrogene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
3-(1,2-Ethandiylacetale)-estra-5(10),9(11)-dien-3,17-dion, zyklisch	5571-36-8				2
Ethen (Ethylen)	74-85-1	...	3*	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
O,O'-(Ethenylmethylsilylen)di[(4-methylpentan-2-on)oxim]					3
Ethidiumbromid; 3,8-Diamino-1-ethyl-6-phenylphenantridiniumbromid	1239-45-8		3		
4-Ethoxyanilin	156-43-4		3		
4'-Ethoxy-2-benzimidazol-anilid	120187-29-3		3		
2-Ethoxyethanol	110-80-5			2	2
2-Ethoxyethylacetat	111-15-9			2	2
(4-Ethoxyphenyl)(3-(4-fluor-3-phenoxyphenyl)propyl)dimethylsilan	105024-66-6				2
5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol	2593-15-9	3			
Ethyl-1-(2,4-dichlorphenyl)-5-(trichlormethyl)-1H-1,2,4-triazol-3-carboxylat	103112-35-2	2			
Ethylenimin	151-56-4	2	2		
Ethylenoxid	75-21-8	2	2		
Ethylenthioharnstoff	96-45-7	3*	...	2	
2-Ethylhexan-1,3-diol	94-96-2			...	
2-Ethylhexansäure	149-57-5			3	
2-Ethylhexyl-[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]methyl]thio]acetat	80387-97-9			2	
2-Ethylhexyl-2-ethylhexanoat	7425-14-1			3	
3-Ethyl-2-methyl-2-(3-methylbutyl)-1,3-oxazolidin	143860-04-2				2
1-Ethyl-1-methylmorpholiniumbromid	65756-41-4		3		
4-Ethyl-4-methylpyrrolidiniumbromid	69227-51-6		3		
2-Ethylphenylhydrazinhydrochlorid	19398-06-2	3			
Faserstäube, anorganische (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien, siehe TRGS 905 Abschnitt 2.3) Asbest, Erionit, Mineralwolle und keramische Mineralfasern siehe dort		2* oder 3*			
Fenarimol	60168-88-9			3	3
Fenpropimorph	67564-91-4			3	
Fenthion	55-38-9		3		
Fentinacetat	900-95-8	3		3	
Fentinhydroxid	76-87-9	3		3	
Fluazifop-butyl	69806-50-4			2	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Fluazifop-P-butyl	79241-46-6			3	
Flumioxazin	103361-09-7			2	
1-(4-Fluor-5-hydroxymethyl-tetrahydrofuran-2-yl)-1H-pyrimidin-2,4-dion	41107-56-6		3		
Flusilazol	85509-19-9	3		2	
Forchlorfenuron (ISO)	68157-60-8	3			
Formaldehyd	50-00-0	3			
Formamid	75-12-7			2	
Furaldehyd	98-01-1	3	...	...	...
Furan	110-00-9	2	3	...	...
Furfurylalkohol	98-00-0	3			
Gestagene (Steroidhormone)		3*	...	2*	1*
Gestagene, schwache (Steroidhormone)		...	...	3*	3*
Glucocorticoide (Steroidhormone)		...	...	1*	3*
Glufosinat-Ammonium (ISO)	77182-82-2			3	2
6-Glycidyloxynaphth-1-yl-oxymethyloxiran	27610-48-6		3		
Glycidyltrimethylammoniumchlorid	3033-77-0	2	3	...	3
Glyoxal	107-22-2		3		
Heptachlor (ISO)	76-44-8	3			
Heptachlorepoxid	1024-57-3	3			
Hexachlorbenzol	118-74-1	2			
1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien	87-68-3	3*			
1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexane, mit Ausnahme der namentlich bezeichneten		3			
Hexahydrocyclopenta[c]pyrrol-1-(1H)-ammonium-N-ethoxycarbonyl-N-(p-tolylsulfonyl)azanid			3		
Hexamethylphosphorsäuretriamid	680-31-9	2	2		
n-Hexan	110-54-3				3
2-Hexanon	591-78-6				3
O-Hexyl-N-ethoxycarbonylthiocarbamat		2	2		
Holzstaub (außer Hartholzstäube)		3*			
Hydrazin	302-01-2	2			
Hydrazin, Salze von		2			
Hydrazinbis(3-carboxy-4-hydroxybenzolsulfonat)		2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
(4-Hydrazinophenyl)-N-methylmethansulfonamidhydrochlorid	81880-96-8		3		
Hydrazin-tri-nitromethan		2			
Hydrazobenzol	122-66-7	2			
2-[2-Hydroxy-3-(2-chlorphenyl)carbamoyl-1-naphthylazo]-7-[2-hydroxy-3-(3-methylphenyl)carbamoyl-1-naphthylazo]fluoren-9-on				2	
2-(2-Hydroxy-3,5-dinitroanilino)ethanol	99610-72-7				3
6-Hydroxy-1-(3-isopropoxypropyl)-4-methyl-2-oxo-5-[4-(phenylazo)phenylazo]-1,2-dihydro-3-pyridincarbonitril	85136-74-9	2			
Hydroxylamin	7803-49-8	3			
Hydroxylammoniumchlorid	5470-11-1	3			
Hydroxylammoniumhydrogensulfat	10046-00-1	3			
Hydroxylaminphosphat	20845-01-6	3			
Hydroxylamindihydrogenphosphat	19098-16-9	3			
Hydroxylamin-4-methylbenzolsulfonat	53933-48-5	3			
Hydroxylammoniumnitrat	13465-08-2	3			
N-[3-Hydroxy-2-(2-methyl-acryloylamino-methoxy)-propoxymethyl]-2-methyl-acrylamid; N-[2,3-Bis(2-methyl-acryloylamino-methoxy)propoxymethyl]-2-methyl-acrylamid; Methacrylamid; 2-Methyl-N-(2-methyl-acryloylamino-methoxy-methyl)-acrylamid; N-(2,3-Dihydroxy-propoxymethyl)-2-methyl-acrylamid, Gemisch aus		2	3		
N-[4-[(2-Hydroxy-5-methylphenyl)azo]phenyl]acetamid, C.I. Disperse yellow 3	2832-40-8	3			
4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-4-yl-tris(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonat) und 4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-bis(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonat), 2:1 Gemisch aus	140698-96-0	3			
Ioxynil	1689-83-4			3	
O-Isobutyl-N-ethoxy-carbonylthiocarbamat	103122-66-3	2	2		
4,4‘-Isobutylethylidendiphenol	6807-17-6				2
Isobutylnitrit	542-56-3	2	3		
2-(Isocyanatosulfonylmethyl)benzoesäuremethylester	83056-32-0		3		
Isopren, Methyl-1,3-butadien	78-79-5	2	3	...	...
4,4‘-Isopropylidendiphenol	80-05-7			...	3
Isoproturon	34123-59-6	3			
Isoxaflutole	141112-29-0			3	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Kaliumbromat	7758-01-2	2			
Kaliumchromat	7789-00-6	2 R49	2		
Kaliumdichromat	7778-50-9	2	2	2	2
Kalium-1-methyl-3-morpholinocarbonyl-4-[3-(1-methyl-3-morpholinocarbonyl-5-oxo-2-pyrazolin-4-yliden)-1-propenyl]pyrazol-5-olat; [Gehalt an N,N-Dimethylformamid ≥ 0,5 %]	183196-57-8			2	
Kaliumnitrat	7757-79-1			...	...
Kaliumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure					
Kaliumtitanoxid ($K_2Ti_6O_{13}$)	12056-51-8	3			
Keramische Mineralfasern, feuerfest Fasern für besondere Verwendungszwecke; [Künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na_2O+K_2O+CaO+MgO+ BaO) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent] (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien)		2 R49			
Ketoconazol; 1-[4-[4-[[(2SR,4RS)-2-(2,4-Dichlorphenyl)-2-(imidazol-1-ylmethyl)-1,3-dioxolan-4-yl]methoxy]phenyl]piperazin-1-yl]ethanon	65277-42-1				2
Kieselsäure, Blei-Nickel-Salz	68130-19-8	1 R49		1	3
Kohlendisulfid	75-15-0			3	3
Kohlenmonoxid	630-08-0			1	
Kresoxim-methyl	143390-89-0	3			
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert, Nickelsulfat	92129-57-2	1 R49	3	2	
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert,	92129-57-2	1 R49	3	1	3
Lindan	58-89-9	3*	...		
Linuron (ISO)	330-55-2	3	2		3
Lithiumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure					
Malachitgrün Hydrochlorid, C.I. Basic Green 4 Malachitgrün Oxalat	569-64-2 18015-76-4			3	
Mancozeb	8018-01-7			3	
Maneb	12427-38-2			3	
Mepanipyrim	110235-47-7	3			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
4-Mesyl-2-nitrotoluol	1671-49-4				3
Metconazol (ISO); (1RS,5RS;1RS,5SR)-5-(4-Chlorbenzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)cyclopentanol	125116-23-6			3	
2-Methoxyanilin	90-04-0	2	3		
Methoxyessigsäure	625-45-6			2	2
2-Methoxyethanol	109-86-4			2	2
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol	111-77-3			3	
2-Methoxyethylacetat	110-49-6			2	2
(Z)-2-Methoxyimino-2-[2-(tritylamino)thiazol-4-yl]essigsäure	64485-90-1	3			
7-Methoxy-6-(3-morpholin-4-yl-propoxy)-3H-quinazolin-4-on; [Gehalt an Formamid ≥ 0,5 %]	199327-61-2			2	
2-Methoxy-1-propanol	1589-47-5	...		2	...
2-Methoxypropylacetat-1	70657-70-4			2	
6-Methoxy-m-toluidin 2-Methoxy-5-methylanilin	120-71-8	2			
N-Methylacetamid	79-16-3	...	...	2	...
Methylacrylamidomethoxyacetat (mit ≥ 0,1% Acrylamid)	77402-03-0	2	2		
Methylacrylamidoglykolat (mit ≥ 0,1% Acrylamid)	77402-05-2	2	2		
Methylacrylat	96-33-3	...			
2-Methylaziridin	75-55-8	2			
(Methyl-ONN-azoxy)methylacetat	592-62-1	2		*2*	
N-Methylbis(2-chlorethyl)amin	51-75-2	1*	2*		
2-Methyl-5-tert-butylthiophenol				3	
6-Methyl-1,3-dithiolo(4,5-b)chinoxalin-2-on	2439-01-2				3
4,4'-Methylenbis(2-ethylanilin)	19900-65-3	3	...	...	...
Gemisch aus: Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalinsulfonat (1:2) Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalinsulfonat (1:3)		3			
(Methylenbis(4,1-phenylenazo(1-(3-(dimethylamino)propyl)-1,2-dihydro-6-hydroxy-4-methyl-2-oxopyridin-5,3-diyl)))-1,1'-dipyridiniumdichloriddihydrochlorid		2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
4,4‘-Methylendiphenyldiisocyanat 2,2‘-Methylendiphenyldiisocyanat 2,4‘-Methylendiphenyldiisocyanat Methylendiphenyldiisocyanat	101-68-8 2536-05-2 5873-54-1 26447-40-5	3	...	...	...
4,4‘-Methylendiphenyldiisocyanat tech. (Polymeres) MDI, pMDI (in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion)	9016-87-9	3*	...	...	...
4,4'-Methylendi-o-toluidin	838-88-0	2			
N-Methylformamid	123-39-7			2	
Methyliodid	74-88-4	3			
Methylisocyanat	624-83-9			3	
1-Methyl-3-nitro-1-nitrosoguanidin	70-25-7	2			
N-Methylolchloracetamid	2832-19-1	...	3*	...	...
Methylphenylendiamin, technisches Produkt – Gemisch aus 4-Methyl-m-phenylendiamin und 2-Methyl-m-phenylendiamin		2	3		3
2-Methyl-m-phenylendiamin	823-40-5		3		
4-Methyl-m-phenylendiamin	95-80-7	2	3		3
4-Methyl-m-phenylendiaminsulfat	65321-67-7	2			
N-Methyl-2-pyrrolidon	872-50-4			2	
N-Methyl-2,4,6-N-tetranitroanilin	479-45-8	...	...	...	...
Michlers Keton	90-94-8	2	3	...	...
Mineralwolle Künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden ($Na_2O+K_2O+CaO+MgO+BaO$) von über 18 Gewichtsprozent (Eine Einstufung ist abhängig von der Erfüllung bestimmter Kriterien)		2* 3			
Molinat	2212-67-1	3			3
Molybdäntrioxid	1313-27-5	3			
Monocrotophos	6923-22-4		3		
Monuron (ISO)	150-68-5	3			
Morpholin-4-carbonylchlorid	15159-40-7	2* 3			
Myclobutanil	88671-89-0			3	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	**M**	**R_E**	**R_F**
Naphthalin	91-20-3	3	...	...	...
2-Naphthylamin	91-59-8	1			
2-Naphthylamin, Salze von		1			
1,5-Naphthylendiamin	2243-62-1	3			
1-(1-Naphthylmethyl)quinoliniumchlorid	65322-65-8	3	3		
Natriumbisulfit	7631-90-5		...		
Natriumchromat	7775-11-3	2	2	2	2
Natriumdichromat	10588-01-9	2	2	2	2
Natriumdichromatdihydrat	7789-12-0	2	2	2	2
Natriummetabisulfit	7681-57-4		...		
Natriumnitrat	7631-99-4		...	...	
Natriumperborat Perborsäure, Natriumsalz Perborsäure, Natriumsalz, Monohydrat Natriumperoxometaborat Perborsäure (HBO(O2)), Natriumsalz, Monohydrat Natriumperoxoborat	15120-21-5 11138-47-9 12040-72-1 7632-04-4 10332-33-9			2	3
Nickel, Metall	7440-02-0	3			
Nickelsalze, löslich, sofern nicht namentlich genannt		1*	...		
Dialuminium-Nickeltetraoxid; Nickel-Titantrioxid; Nickel-Titanoxid; Nickel-Divanadiumhexaoxid; Kobalt-Dimolybdän-Nickeloctaoxid; Nickel-Zirkontrioxid; Molybdän-Nickeltetraoxid; Nickel-Wolframtetraoxid; Olivin, Nickel grün; Lithium-Nickeldioxid; Molybdän-Nickeloxid	12004-35-2 12035-39-1 12653-76-8 52502-12-2 68016-03-5 70692-93-2 14177-55-0 14177-51-6 68515-84-4 12031-65-1 12673-58-4	1 R49			
Nickel-Barium-Titan-Primel-Priderit; C.I. Pigment gelb 157; C.I. 77900	68610-24-2	1 R49			
Nickel-bis(4-cyclohexylbutyrat)	3906-55-6	1 R49	3	2	
Nickel-bis(dihydrogenphosphat) Nickel-bis(phosphinat) s. Nickelhydrogenphosphat					
Nickel-bis(sulfamidat); Nickelsulfamat	13770-89-3	1 R49	3	2	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Nickel-bis(tetrafluorborat)	14708-14-6	1 R49	3	2	
Nickelborid (NiB); Dinickelborid; Trinickelborid; Nickelborid; Dinickelsilicid; Nickeldisilicid; Dinickelphosphid; Nickel-Borphosphid	12007-00-0 12007-01-1 12007-02-2 12619-90-8 12059-14-2 12201-89-7 12035-64-2 65229-23-4	1 R49			
Nickelcarbonat Kohlensäure, Nickelsalz	3333-67-3 16337-84-1	1 R49	3	2	
Nickelchromat	14721-18-7	1 R49			
Nickeldi(acetat) Nickelacetat	373-02-4 14998-37-9	1 R49	3	2	
Nickeldiarsenid; Nickelarsenid	12068-61-0 27016-75-7	1 R49			
Nickeldibenzoat	553-71-9	1 R49	3	2	
Nickeldibromid siehe Nickeldifluorid					
Nickeldichlorat; Nickeldibromat; Ethylhydrogensulfat, Nickel(II)-Salz	67952-43-6 14550-87-9 71720-48-4	1 R49	3	2	
Nickeldichlorid	7718-54-9	1 R49	3	2	
Nickeldichromat	15586-38-6	1 R49	3	2	
Nickeldicyanid	557-19-7	1 R49			
Nickeldifluorid; Nickeldibromid; Nickeldijodid; Nickel-Kalium-Fluorid	10028-18-9 13462-88-9 13462-90-3 11132-10-8	1 R49	3	2	
Nickeldiformat; Ameisensäure, Nickelsalz; Ameisensäure, Kupfer-Nickel-Salz	3349-06-2 15843-02-4 68134-59-8	1 R49	3	2	
Nickeldihydroxid	12054-48-7 11113-74-9	1 R49	3	2	
Nickeldijodid siehe Nickeldifluorid					

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Nickeldikalium-bis(sulfat); Nickeldiammonium-bis(sulfat), Diammoniumnickel-bis(sulfat)	13842-46-1 15699-18-0	1 R49	3	2	
Nickeldilactat	16039-61-5	1 R49	3	2	
Nickeldinitrat Salpetersäure, Nickelsalz	13138-45-9 14216-75-2	1 R49	3	2	
Nickeldioxid	12035-36-8	1 R49			
Nickeldiperchlorat; Perchlorsäure, Nickel(II)-Salz	13637-71-3	1 R49	3	2	
Nickeldithiocyanat	13689-92-4	1 R49	3	2	
Nickelhexafluorsilikat	26043-11-8	1 R49	3	2	
Nickelhydrogenphosphat; Nickel-bis(dihydrogenphosphat); Trinickel-bis(orthophosphat); Dinickeldiphosphat; Nickel-bis(phosphinat); Nickelphosphinat; Phosphorsäure, Calcium-Nickel-Salz; Diphosphorsäure, Nickel(II)-Salz	14332-34-4 18718-11-1 10381-36-9 14448-18-1 14507-36-9 36026-88-7 17169-61-8 19372-20-4	1 R49			
Nickel-Kalium-Fluorid siehe Nickeldifluorid					
Nickelmatte sowie Rösten oder elektrolytische Raffination von		1			
Nickelmonoxid Nickeloxid Bunsenit	1313-99-1 11099-02-8 34492-97-2	1 R49			
Nickel(II)-octanoat	4995-91-9	1 R49	3	2	
Nickeloxalat; Oxalsäure, Nickelsalz	547-67-1 20543-06-0	1 R49			
Nickelphosphinat s. Nickelhydrogenphosphat					
Nickelselenat	15060-62-5	1 R49	3	2	
Nickelselenid	1314-05-2	1 R49			
Nickel(II)-Selenit	10101-96-9	1 R49			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Nickel(II)-Silikat; Dinickelorthosilikat; Nickelsilikat (3:4); Kieselsäure, Nickelsalz; Trihydrogenhydroxy-bis[orthosilikato(4-)]trinickelat(3-)	21784-78-1 13775-54-7 31748-25-1 37321-15-6 12519-85-6	1 R49			
Nickel(II)-stearat; Nickel(II)-octadecanoat	2223-95-2	1 R49	3	2	
Nickelsulfat	7786-81-4	1 R49	3	2	
Nickelsulfid Nickelsulfid Millerit	16812-54-7 11113-75-0 1314-04-1	1 R49	3		
Nickel(II)-sulfit; Nickel-Tellurtrioxid; Nickel-tellurtetraoxid; Molybdän-Nickelhydroxidoxidphosphat	7757-95-1 15851-52-2 15852-21-8 68130-36-9	1 R49			
Nickeltellurid	12142-88-0	1 R49			
Nickeltetracarbonyl	13463-39-3	3		2	

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Nickel(II)-trifluoracetat; Nickel(II)-propionat; Nickel-bis(benzolsulfonat); Nickel(II)-hydrogencitrat; Zitronensäure, Ammonium-Nickel-Salz; Zitronensäure, Nickelsalz; Nickel-bis(2-ethylhexanoat); 2-Ethylhexansäure, Nickelsalz; Dimethylhexansäure, Nickelsalz; Nickel(II)-isooctanoat; Nickelisooctanoat; Nickel-bis(isononanoat); Nickel(II)-neononanoat; Nickel(II)-isodecanoat; Nickel(II)-neodecanoat; Neodecansäure, Nickelsalz; Nickel(II)-neoundecanoat; Bis(D-gluconato-O1,O2)nickel; Nickel-3,5-bis(tert-butyl)-4-hydroxybenzoat(1:2); Nickel(II)-palmitat; (2-Ethylhexanoato-O)(isononanoato-O)nickel; (Isononanoato-O)(isooctanoato-O)nickel; (Isooctanoato-O)(neodecanoato-O)nickel; (2-Ethylhexanoato-O)(isodecanoato-O)nickel; (2-Ethylhexanoato-O)(neodecanoato-O)nickel; (Isodecanoato-O)(isooctanoato-O)nickel; (Isodecanoato-O)(isononanoato-O)nickel; (Isononanoato-O)(neodecanoato-O)nickel; Fettsäuren, C6-19-verzweigt, Nickelsalze; Fettsäuren, C8-18 und C18-ungesättigt, Nickelsalze; 2,7-Naphthalendisulfonsäure, Nickel(II)-Salz	16083-14-0 3349-08-4 39819-65-3 18721-51-2 18283-82-4 22605-92-1 4454-16-4 7580-31-6 93983-68-7 29317-63-3 27637-46-3 84852-37-9 93920-10-6 85508-43-6 85508-44-7 51818-56-5 93920-09-3 71957-07-8 52625-25-9 13654-40-5 85508-45-8 85508-46-9 84852-35-7 84852-39-1 85135-77-9 85166-19-4 84852-36-8 85551-28-6 91697-41-5 84776-45-4 72319-19-8	1 R49	3	2	
Nickeltriurandecaoxid	15780-33-3	1 R49			
Nickel-Zinn-Trioxid; Nickelstannat	12035-38-0	1 R49			
5-Nitroacenaphthen	602-87-9	2			
2-Nitro-4-aminophenol	119-34-6	3*			
2-Nitroanisol	91-23-6	2			
Nitrobenzol	98-95-3	3			3
4-Nitrobiphenyl	92-93-3	2			
Nitrofen (ISO)	1836-75-5	2		2	
1-Nitronaphthalin	86-57-7	...	...	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
2-Nitronaphthalin	581-89-5	2			
2-Nitro-p-phenylendiamin	5307-14-2	3*			
2-Nitropropan	79-46-9	2			
Nitropyrene (Mono-, Di-, Tri-,Tetra-), Isomere	5522-43-0	3*			
N-Nitrosodi-n-butylamin	924-16-3	2*			
N-Nitrosodiethanolamin	1116-54-7	2			
N-Nitrosodiethylamin	55-18-5	2*			
N-Nitrosodimethylamin	62-75-9	2			
N-Nitrosodi-i-propylamin	601-77-4	2*			
N-Nitrosodi-n-propylamin	621-64-7	2			
N-Nitrosoethylphenylamin	612-64-6	2*			
N-Nitrosomethylethylamin	10595-95-6	2*			
N-Nitrosomethylphenylamin	614-00-6	2*			
N-Nitrosomorpholin	59-89-2	2*			
p-Nitrosophenol	104-91-6		3		
N-Nitrosopiperidin	100-75-4	2*			
N-Nitrosopyrrolidin	930-55-2	2*			
5-Nitro-o-toluidin, 2-Amino-4-nitrotoluol	99-55-8	3	...	...	...
5-Nitro-o-toluidin, Hydrochlorid	51085-52-0	3	...	...	...
2-Nitrotoluol	88-72-2	2	2	---	3
Nonylphenol/lineare Seitenkette	25154-52-3	...	...	3	3
4-Nonylphenol/verzweigte Seitenkette	84852-15-3	...	...	3	3
Octabromdiphenylether	32536-52-0	...	...	2	3
Octamethylcyclotetrasiloxan, D4	556-67-2	---	---	---	3
Olaquindox	23696-28-8	3*	2*	---	3*
Orthoborsäure, Natriumsalz	13840-56-7			2	2
Oxadiargyl	39807-15-3			3	
Oxiranmethanol, 4-methylbenzolsulfonat, (S)-	70987-78-9	2	3		
3-Oxoandrost-4-en-17-beta-carbonsäure	302-97-6				3
4,4'-Oxydianilin und seine Salze	101-80-4	2	2	...	3
Ozon	10028-15-6	3*	...	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Passivrauchen (Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz werden durch das Arbeitsschutzgesetz und die Arbeitsstätten-verordnung geregelt)		1*	3*	1*	...
Pentachlorethan	76-01-7	3			
Pentachlorphenol	87-86-5	2* 3	3*	2*	
Pentachlorphenol, Salze von		2*			
Pentachlorphenol, Alkalisalze von – Natriumsalz – Kaliumsalz	 131-52-2 7778-73-6	2* 3			
Perborsäure ($H_3BO_2(O_2)$), Mononatriumsalz-Trihydrat Perborsäure, Natriumsalz-Tetrahydrat Perborsäure (HBO(O2)), Natriumsalz-Tetrahydrat Natriumperoxoborat-Hexahydrat	13517-20-9 37244-98-7 10486-00-7			2	3
Perfluoroctansulfonsäure, Heptadecafluoroctan-1-sulfonsäure; Kaliumperfluoroctansulfonat, Kaliumheptadecafluoroctan-1-sulfonat; Diethanolaminperfluoroctansulfonat; Ammoniumper-fluoroctansulfonat, Ammoniumheptadecafluoroctansulfonat; Lithiumperfluoroctansulfonat, Lithiumheptadecafluoroctansul-fonat	1763-23-1 2795-39-3 70225-14-8 29081-56-9 29457-72-5	3		2	
Peroxyessigsäure	79-21-0	...	...	...	...
Phenol	108-95-2	...	3	...	...
Phenolphthalein	77-09-8	2	3		3
4-Phenylazophenylen-1,3-diaminmonohydrochlorid	532-82-1	...	3*		
1-Phenylazo-2-naphthol	842-07-9	3	3	...	...
(4-Phenylbutyl)phosphinsäure	86552-32-1	3			
4,4‘-(1,3-Phenylen-bis(1-methylethyliden))bisphenol	13595-25-0				3
1,2-Phenylendiamin	95-54-5	3	3	...	...
1,2-Phenylendiamindihydrochlorid	615-28-1	3	3	...	...
1,3-Phenylendiamin	108-45-2	...	3	...	...
1,3-Phenylendiamindihydrochlorid	541-69-5	...	3	...	...
1,4-Phenylendiamin	106-50-3	...	...	...	...
1,4-Phenylendiamindihydrochlorid	624-18-0	...	...	...	...
(R)-α-Phenylethylammonium-(-)-(1R, 2S)-(1,2-epoxypropyl) phosphonatmonohydrat	25383-07-7				3
Phenylhydrazin	100-63-0	2	3	...	...

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Phenylhydrazinhydrochlorid	27140-08-5	2	3		
Phenylhydraziniumchlorid	59-88-1	2	3	...	...
Phenylhydraziniumsulfat, 2:1	52033-74-6	2	3		
N-Phenyl-2-naphthylanilin	135-88-6	3			
trans-4-Phenyl-L-prolin	96314-26-0				3
Phosphorsäure, Calcium-Nickel-Salz s. Nickelhydrogenphosphat					
Phosphamidon	13171-21-6		3		
Phoxim (ISO)	14816-18-3				3
Piperazin, fest und flüssig	110-85-0			3	3
Piperazinhydrochlorid; Piperazindihydrochlorid; Piperazinphosphat	6094-40-2 142-64-3 1951-97-9			3	3
3-(Piperazin-1-yl)-benzo[d]isothiazolhydrochlorid	87691-88-1				3
Polychlorierte Biphenyle	1336-36-3	3*		2*	2*
Profoxydim	139001-49-3	3		3	
3-Propanolid	57-57-8	2			
1,3-Propansulton	1120-71-4	2			
Propargit	2312-35-8	3			
Propazin	139-40-2	3			
1,2-Propylenoxid	75-56-9	2	2		
Propylenthioharnstoff	2122-19-2			3	
iso-Propylglycidylether	4016-14-2	...	3*	...	...
Pymetrozin	123312-89-0	3			
Pyrogallol	87-66-1		3		
Pyrolyseprodukte aus organischem Material s. auch namentlich genannte		1* oder 2*			
Quarz-A-Staub	14808-60-7				
Quecksilber	7439-97-6			2	
Quecksilberdichlorid	7487-94-7		3		3
Quinolin, Chinolin	91-22-5	2	3		
Simazin	122-34-9	3			
Strontiumchromat	7789-06-2	2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Styroloxid	96-09-3	2			
Sulfallat (ISO)	95-06-7	2			
Tepraloxydim (ISO)	149979-41-9	3		3	3
1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon	2475-45-8	2	...	...	...
Tetrabordinatriumheptaoxid, Hydrat	12267-73-1			2	2
5,6,12,13-Tetrachloranthra(2,1,9-def:6,5,10-d‘e’f‘)diisochinolin-1,3,8,10(2H, 9H)tetron	115662-06-1				3
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin	1746-01-6	2*			
1,1,2,2-Tetrachlorethan	79-34-5	3*	3*	...	...
Tetrachlorethen	127-18-4	3	...	3*	...
Tetrachlormethan	56-23-5	3			
N,N,N‘,N‘-Tetraglycidyl-4,4‘-diamino-3,3‘-diethyldiphenylmethan	130728-76-6		3		
Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidin-2-on; Dimethylpropylenharnstoff	7226-23-5				3
(±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2-[4-(6-chlorchinoxalin-2-yloxy)-phenyloxy]propanoat	119738-06-6		3	2	3
Tetrahydrothiopyran-3-carboxaldehyd	61571-06-0			2	
Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid; Reaktionsprodukt mit Harnstoff und destilliertem hydriertem C_{16-18}-Talgalkylamin	166242-53-1	3	...		
N,N,N‘,N‘-Tetramethylacridin-3,6-yldiaminhydrochlorid und N,N,N‘,N‘-Tetramethylacridin-3,6-diaminmonohydrochlorid Verbindung mit $ZnCl_2$ (Acridinorange)	65-61-2 10127-02-3	...	3*	...	...
2,2‘-((3,5‘,5,5‘-Tetramethyl-(1,1‘-biphenyl)-4,4‘-diyl)-bis(oxymethylen))-bisoxiran	85954-11-6	3			
N,N,N’,N’-Tetramethyl-4,4’-methylendianilin 4,4‘-Methylenbis(N,N-dimethylanilin)	101-61-1	2			
Tetranatrium-3,3‘-[[1,1‘-biphenyl]-4,4‘-diylbis(azo)]bis[5-amino-4-hydroxynaphthalin-2,7-disulfonat]	2602-46-2	2		3	
Tetranitromethan	509-14-8	2*			
Thioacetamid	62-55-5	2			
4,4'-Thiodianilin und seine Salze	139-65-1	2			
Thioharnstoff	62-56-6	3		3	
Thiophanat-methyl	23564-05-8		3		
Thiram	137-26-8		...		
o-Toluidin	95-53-4	2			

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
p-Toluidin	106-49-0	3	...	...	...
p-Toluidiniumchlorid	540-23-8	3			
p-Toluidinsulfat	540-25-0	3			
Toluol	108-88-3	...	...	3	...
4-o-Tolylazo-o-toluidin	97-56-3	2			
m-Tolylidendiisocyanat)	26471-62-5	3			
Triammonium-6-amino-3-((2,5-diethoxy-4-(3-phosphonophenyl)azo)phenyl)azo-4-hydroxy-2-naphthalensulfonat; Diammonium-3-((4-((7-amino-1-hydroxy-3-sulfo-naphthalen-2-yl)azo)-2,5-diethoxyphenyl)azo)benzoat, Gemisch aus					3
Triammonium-4-[4-[7-(4-carboxylatoanilino)-1-hydroxy-3-sulfonato-2-naphthylazo]-2,5-dimethoxyphenylazo]benzoat	221354-37-6				3
1,2,4-Triazol	288-88-0			3	
Tribleibis(orthophosphat)	7446-27-7			1	3
Tribrommethan	75-25-2	3*			
Tributylphosphat	126-73-8	3			
2,3,4-Trichlor-1-buten	2431-50-7	2* 3			
1,1,2-Trichlorethan	79-00-5	3	...	...	...
Trichlorethylen	79-01-6	2	3		
Trichlormethan	67-66-3	2* 3	3*	3*	...
N-(Trichlormethylthio)phthalimid	133-07-3	3			
2,4,6-Trichlorphenol	88-06-2	3			
1,2,3-Trichlorpropan	96-18-4	2	3*	...	2
α,α,α-Trichlortoluol	98-07-7	2			
Tridemorph	24602-86-6			2	
Triethylarsenat	15606-95-8	1			
Trifluoriodmethan	2314-97-8		3		
Trifluralin (ISO) (enthält < 0,5 ppm NPDA)	1582-09-8	3			
2,4,5-Trimethylanilin -hydrochlorid	137-17-7 21436-97-5	2	...	...	...
3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on	78-59-1	3	...	...	...
Trimethylphosphat	512-56-1	3*	2*		

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	M	R_E	R_F
Trimethylpropan-tri(3-aziridinylpropanoat); (TAZ)	52234-82-9		3		
Trinatrium-[4‘-(8-acetylamino-3,6-disulfonato-2-naphthylazo)-4‘‘-(6-benzoylamino-3-sulfonato-2-naphthylazo)-biphenyl-1,3‘,3‘‘,1‘‘‘-tetraolato-O,O‘,O‘‘,O‘‘‘]kupfer(II)	164058-22-4	2			
Trinatriumbis[7-acetamido-2-(4-nitro-2-oxidophenylazo)-3-sulfonato-1-naphtholato]chromat(1-)			3		
Trinatriumnitriltriacetat	5064-31-3	3			
Trinickel-bis(arsenat); Nickel(II)-Arsenat	13477-70-8	1			
Trinickel-bis(arsenit)	74646-29-0	1 R49			
Trinickel-bis(orthophosphat) s. Nickelhydrogenphosphat					
Trinickeldisulfid	12035-72-2 12035-71-1	1 R49	3		
Trinickeltetrasulfid	12137-12-1	1 R49			
2,4,7-Trinitrofluoren-9-on	129-79-3	3*			
2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen)	118-96-7	3*			
1,3,5-Trioxan	110-88-3	...	...	3	...
1,3,5-Tris(3-aminomethylethylphenyl)-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion und Oligomerengemisch aus 3,5-Bis(3-aminomethylphenyl)-1-poly[3,5-bis(3-aminomethylphenyl)-2,4,6-triazin-1,3,5-(1H,3H,5H)triazin-1-yl]-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion, Gemisch aus		2		2	
Tris(2-chlorethyl)phosphat	115-96-8	2* 3	...	...	2
1,3,5-Tris-[(2S und 2R)-2,3-epoxypropyl]-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H, 3H, 5H)-trion	59653-74-6		2		
N,N‘,N‘-Tris(2-methyl-2,3-epoxypropyl)-perhydro-2,4,6-oxo-1,3,5-triazin	26157-73-3		3		
1,3,5-Tris(oxiranylmethyl)-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H,3H,5H)trion	2451-62-9	...	2	...	3*
Urethan (INN)	51-79-6	2			
Valinamid	20108-78-5				3
Vinclozolin	50471-44-8	3		2	2
Vinylacetat	108-05-4	3*			
9-Vinylcarbazol	1484-13-5	...	3	...	...
Vinylchlorid	75-01-4	1			
4-Vinylcyclohexen	100-40-3	3*	...	...	3*

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Einstufung, Kategorie			
		K	**M**	**R_E**	**R_F**
N-Vinyl-2-pyrrolidon	88-12-0	3	...	...	...
Warfarin	81-81-2 5543-57-7 5543-58-8			1	
Wasserstoffperoxid	7722-84-1	...	...	...	...
2,4-Xylidin	95-68-1	3*			
2,6-Xylidin	87-62-7	3	...	...	...
Zinkchromate, einschließlich Zinkkaliumchromat		1			
Ziram	137-30-4		...		

Quelle: Institut für Arbeitsschutz (BGIA)

Anhang B

Einteilung organischer Verbindungen mit einem Siedepunkt ≤ 65 °C (Niedrigsieder) in Filtergruppen.

Gruppen 1 und 2:
Niedrigsieder, gegen die Schutz durch AX-Filter erreichbar ist.

Gruppe 3:
Niedrigsieder, gegen die Schutz mit anderen Gasfiltern (z.B. Typ B oder K) erreichbar ist.

Gruppe 4:
Niedrigsieder, die an Gasfilter nicht oder nicht ausreichend zu binden sind.

Niedrigsieder der Gruppen 1 bis 4

Gruppe 1

Acetaldehyd
2-Aminobutan
2-Amino-2-methylpropan
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan
Brommethan
1,3-Butadien
1-Chlor-1,1-difluorethan
Chlorfluormethan
2-Chlor-1,3-butadien
3-Chlor-1-propen
1,1-Dichlorethen
Dichlormethan
Diethylamin
1,1-Difluorethen
Dimethylether
1,1-Dimethylethylamin (tert-Butylamin)
1,2-Epoxypropan
Ethanthiol
Ethylenoxid
Iodmethan
Methanol
Monochlordimethylether
2-Propenal (Acrolein)
Propylenimin
Trichlormethan
Vinylchlorid

Gruppe 2

Aceton
Bromethan
Butan
Chlorethan
2-Chlorpropan
1,3-Cyclopentadien
Dibromdifluormethan
1,1-Dichlorethan
1,2-Dichlorethen (cis)
1,2-Dichlorethen (trans)
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan
Diethylether
Dimethoxymethan
Dimethylpropan
1,3-Epoxypropan
Ethylformiat
Glyoxal
Methylacetat
Methylbutan
Methylformiat
Methylpropan
n-Pentan
Propanal

Gruppe 3

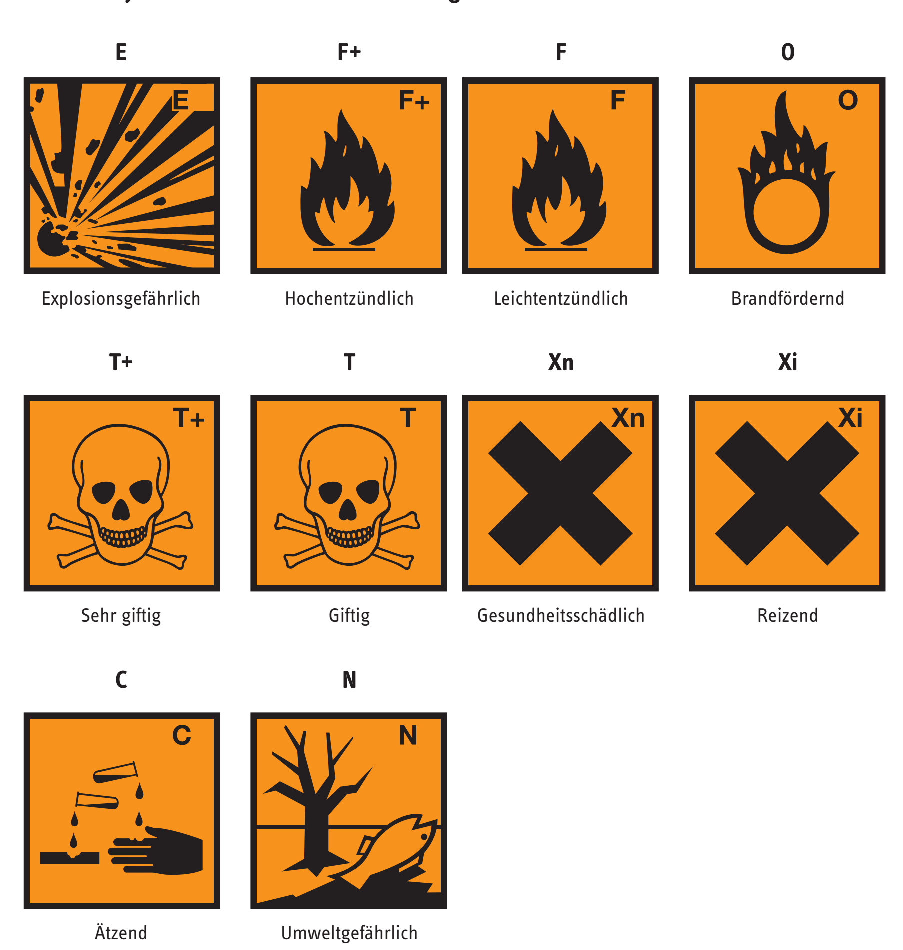
2-Aminopropan
Carbonylchlorid (Phosgen)
Diazomethan
Dimethylamin
1,1-Dimethylhydrazin
Ethylamin
Ethyldimethylamin
(N,N-Dimethylethylamin)
Ethylenimin
Ethylquecksilberchlorid
Formaldehyd
Kohlendisulfid
Methanthiol
Methylamin
Methylisocyanat
Oxalsäuredinitril (Dicyan)

Group 4

Bromtrifluormethan
Chlordifluormethan
Chlormethan
Chlortrifluormethan
Dichlordifluormethan
Dichlorfluormethan
1,1-Difluorethen
Keten
Methylacetylen
Propan
Trichlorfluormethan
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan

Anhang C

Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen



Hinweise auf besondere Gefahren (R-Sätze)

R 1 In trockenem Zustand explosionsgefährlich

R 2 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen explosionsgefährlich

R 3 Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen besonders explosionsgefährlich

R 4 Bildet hochempfindliche explosionsgefährliche Metallverbindungen

R 5 Beim Erwärmen explosionsfähig

R 6 Mit und ohne Luft explosionsfähig

R 7 Kann Brand verursachen

R 8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen

R 9 Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen

R 10 Entzündlich

R 11 Leichtentzündlich

R 12 Hochentzündlich

R 14 Reagiert heftig mit Wasser

R 15 Reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase

R 16 Explosionsgefährlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen

R 17 Selbstentzündlich an der Luft

R 18 Bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-Luftgemische möglich

R 19 Kann explosionsfähige Peroxide bilden

R 20 Gesundheitsschädlich beim Einatmen

R 21 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut

R 22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken

R 23 Giftig beim Einatmen

R 24 Giftig bei Berührung mit der Haut

R 25 Giftig beim Verschlucken

R 26 Sehr giftig beim Einatmen

R 27 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut

R 28 Sehr giftig beim Verschlucken

R 29 Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase

R 30 Kann bei Gebrauch leicht entzündlich werden

R 31 Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase

R 32 Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase

R 33 Gefahr kumulativer Wirkungen

R 34 Verursacht Verätzungen

R 35 Verursacht schwere Verätzungen

R 36 Reizt die Augen

R 37 Reizt die Atmungsorgane

R 38 Reizt die Haut

R 39 Ernste Gefahr irreversiblen Schadens

R 40 Verdacht auf krebserzeugende Wirkung

R 41 Gefahr ernster Augenschäden

R 42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich

R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich

R 44 Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluss

R 45 Kann Krebs erzeugen

R 46 Kann vererbbare Schäden verursachen

R 48 Gefahr erster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition

R 49 Kann Krebs erzeugen beim Einatmen

R 50 Sehr giftig für Wasserorganismen

R 51 Giftig für Wasserorganismen

R 52 Schädlich für Wasserorganismen

R 53 Kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

R 54 Giftig für Pflanzen

R 55 Giftig für Tiere

R 56 Giftig für Bodenorganismen

R 57 Giftig für Bienen

R 58 Kann längerfristig schädliche Wirkungen auf die Umwelt haben

R 59 Gefährlich für die Ozonschicht

R 60 Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen

R 61 Kann das Kind im Mutterleib schädigen

R 62 Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen

R 63 Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen

R 64 Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen

R 65 Gesundheitsschädlich: Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen

R 66 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen

R 67 Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen

R 68 Irreversilber Schaden möglich

Kombination der R-Sätze

R 14 / 15 Reagiert heftig mit Wasser unter Bildung hoch entzündlicher Gase

R 15 / 29 Reagiert mit Wasser unter Bildung giftiger und hochentzündlicher Gase

R 20 / 21 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 20 / 22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken

R 20 / 21 / 22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut

R 21 / 22 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken

R 23 / 24 Giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 23 / 25 Giftig beim Einatmen und Verschlucken

R 23 / 24 / 25 Giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut

R 24 / 25 Giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken

R 26 / 27 Sehr giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 26/28 Sehr giftig beim Einatmen und Verschlucken

R 26/27/28 Sehr giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut

R 27/28 Sehr giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken

R 36/37 Reizt die Augen und die Atmungsorgane

R 36/38 Reizt die Augen und die Haut

R 36/37/38 Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut

R 37/38 Reizt die Atmungsorgane und die Haut

R 39/23 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen

R 39/24 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut

R 39/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken

R 39/23/24 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 39/23/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken

R 39/24/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 39/23/24/25 Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 39/26 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen

R 39/27 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut

R 39/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken

R 39/26/27 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 39/26/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken

R 39/27/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 39/26/27/28 Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 42/43 Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich

R 48/20 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen

R 48 / 21 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut

R 48 / 22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken

R 48 / 20 / 21 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut

R 48 / 20 / 22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken

R 48 / 21 / 22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 48 / 20 / 21 / 22 Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 48 / 23 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen

R 48 / 24 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut

R 48 / 25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken

R 48 / 23 / 24 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut

R 48 / 23 / 25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken

R 48 / 24 / 25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 48 / 23 / 24 / 25 Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 50 / 53 Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

R 51 / 53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

R 52 / 53 Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

R 68 / 20 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen

R 68/21 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut

R 68/22 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Verschlucken

R 68/20/21 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R 68/20/22 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken

R 68/21/22 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

R 68/20/21/22 Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken

Sicherheitsratschläge (S-Sätze)

S 1 Unter Verschluss aufbewahren

S 2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S 3 Kühl aufbewahren

S 4 Von Wohnplätzen fern halten

S 5 Unter ... aufbewahren (geeignete Flüssigkeit vom Hersteller anzugeben)

S 6 Unter ... aufbewahren (inertes Gas vom Hersteller anzugeben)

S 7 Behälter dicht geschlossen halten

S 8 Behälter trocken halten

S 9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S 12 Behälter nicht gasdicht verschließen

S 13 Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fern halten

S 14 Von ... fern halten (inkompatible Substanzen sind vom Hersteller anzugeben)

S 15 Vor Hitze schützen

S 16 Von Zündquellen fern halten – Nicht rauchen

S 17 Von brennbaren Stoffen fern halten

S 18 Behälter mit Vorsicht öffnen und handhaben

S 20 Bei der Arbeit nicht essen und trinken

S 21 Bei der Arbeit nicht rauchen

S 22 Staub nicht einatmen

S 23 Gas/Rauch/Dampf/Aerosol nicht einatmen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben)

S 24 Berührung mit der Haut vermeiden

S 25 Berührung mit den Augen vermeiden

S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren

S 27 Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen

S 28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel ... (vom Hersteller anzugeben)

S 29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen

S 30 Niemals Wasser hinzugießen

S 33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

S 35 Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden

S 36 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen

S 37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen

S 38 Bei unzureichender Belüftung Atemschutzgerät anlegen

S 39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen

S 40 Fußboden und verunreinigte Gegenstände mit ... reinigen (Material vom Hersteller anzugeben)

S 41 Explosions- und Brandgase nicht einatmen

S 42 Bei Räuchern/Versprühen geeignetes Atemschutzgerät anlegen (geeignete Bezeichnung(en) vom Hersteller anzugeben)

S 43 Zum Löschen ... (vom Hersteller anzugeben) verwenden (wenn Wasser die Gefahr erhöht, anfügen: „Kein Wasser verwenden“)

S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen (wenn möglich dieses Etikett vorzeigen)

S 46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen

S 47 Nicht bei Temperaturen über ... °C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben)

S 48 Feucht halten mit ... (geeignetes Mittel vom Hersteller anzugeben)

S 49 Nur im Originalbehälter aufbewahren

S 50 Nicht mischen mit ... (vom Hersteller anzugeben)

S 51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden

S 52 Nicht großflächig für Wohn- und Aufenthaltsräume zu verwenden

S 53 Exposition vermeiden – vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen

S 56 Dieses Produkt und seinen Behälter der Problemabfallentsorgung zuführen

S 57 Zur Vermeidung einer Kontamination der Umwelt geeigneten Behälter verwenden

S 59 Information zur Wiederverwen dung/Wiederverwertung beim Hersteller / Lieferanten erfragen

S 60 Dieses Produkt und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen

S 61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen/Sicherheitsdatenblatt beachten

S 62 Bei Verschlucken kein Erbrechen herbeiführen. Sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder dieses Etikett vorzeigen

S 63 Bei Unfall durch Einatmen: Verunfallten an die frische Luft bringen und ruhig stellen

S 64 Bei Verschlucken Mund mit Wasser ausspülen (nur wenn Verunfallter bei Bewusstsein ist)

Kombination der S-Sätze

S 1/2 Unter Verschluss und für Kinder unzugänglich aufbewahren

S 3/7 Behälter dicht geschlossen halten und an einem kühlen Ort aufbewahren

S 3/9/14 An einem kühlen, gut gelüfteten Ort, entfernt von ... aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben)

S 3/9/14/49 Nur im Originalbehälter an einem kühlen, gut gelüfteten Ort, entfernt von ... aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben)

S 3/9/49 Nur im Originalbehälter an einem kühlen, gut gelüfteten Ort aufbewahren

S 3/14 An einem kühlen, von ... entfernten Ort aufbewahren (die Stoffe, mit denen Kontakt vermieden werden muss, sind vom Hersteller anzugeben)

S 7/8 Behälter trocken und dicht geschlossen halten

S 7/9 Behälter dicht geschlossen an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S 7/47 Behälter dicht geschlossen und nicht bei Temperaturen über ... °C aufbewahren (vom Hersteller anzugeben)

S 20/21 Bei der Arbeit nicht essen, trinken oder rauchen

S 24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden

S 27/28 Bei Berührung mit der Haut beschmutzte Kleidung sofort ausziehen und sofort abwaschen mit viel .... (vom Hersteller anzugeben)

S 29/35 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen. Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden.

S 29/56 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen

S 36/37 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzkleidung tragen

S 36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen

S 36/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen

S 37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzbrille /Gesichtsschutz tragen

S 47/49 Nur im Originalbehälter bei einer Temperatur von nicht über ... °C (vom Hersteller anzugeben) aufbewahren

Anhang D

I. Literatur zur Sicherheit in Laboratorien und zu den gefährlichen Eigenschaften chemischer Arbeitsstoffe

a) Allgemeine Literatur über Arbeitssicherheit

Druckschriftenverzeichnisse der Unfallversicherungsträger

Verzeichnisse über Unfallverhütungsvorschriften, Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz, Merkblätter, Informationen u.a. aus allen Bereichen der Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin werden in regelmäßig aktualisierten Ausgaben herausgegeben:

a-1 Das Vorschriften- und Regelwerk der DGUV ist unter folgender Internet-Adresse zu finden: http://www.dguv.de

Monographien und Loseblattsammlungen

a-2 W. Berthold, U. Löffler: Lexikon sicherheitstechnischer Begriffe in der Chemie, Verlag Chemie, Weinheim 1981.

a-3 Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, 11. Auflage, Universum Verlagsanstalt GmbH KG, Wiesbaden 2006.

a-4 W.-D. Ring, H.-Ch. Titze: Handbuch Deutsches Arbeitsschutzrecht, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (Loseblattsammlung).

Lehrmittel

a-5 DVD „Alles wird gut“, Labor-Sicherheitsfilm der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger, 2006.

a-6 CD-Trainingsprogramm „Sicheres Arbeiten im Labor“, Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg 2005

a-7 Video-Kassette „Arbeitsplatz Labor – keine Experimente mit der Sicherheit“, Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg 1997.

b) Arbeitssicherheit im chemischen Laboratorium

Informationen der Unfallversicherungsträger

b-1 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen“ (BGI/GUV-I 850-0), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

b-2 „Chemikalienschutzhandschuhe“ (BGI/GUV-I 868), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

b-3 „Prüfung ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel“ (BGI/GUV-I 8524), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

Monographien und Loseblattsammlungen

b-4 S. G. Luxon: Hazards in the Chemical Laboratory, Fifth Edition, The Royal Society of Chemistry, London 1992.

b-5 L. Roth, U. Weller: Sicherheitsfibel Chemie, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (Loseblattsammlung).

b-6 H.K. Schäfer, Ch. Jochum:
Sicherheit in der Chemie; Ein Leitfaden für die Praxis, 2. Auflage,
Carl Hanser Verlag, München 1997.

b-7 W. Wolf, H. Schwahn:
Sicherheit im Labor; Einrichten – Experimentieren – Entsorgen, Diesterweg-Verlag, Frankfurt 1984.

b-8 H. Kruse:
Laborfibel, Wiley-VCH, Weinheim 2002

c) Gesundheitsschädliche chemische Arbeitsstoffe: Informationsmöglichkeiten, sicherer Umgang und Entsorgung

Staatliche Vorschriften

c-1 Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG), Bundesgesetzblatt

c-2 Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV), Bundesgesetzblatt

c-3 Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), Gemeinsames Materialblatt

Vorschriften, Regeln und Informationen der Unfallversicherungsträger

c-4 Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (BGV/GUV-V A1), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

c-5 Regel „Umgang mit Gefahrstoffen in Hochschulen“ (GUV SR 2005), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

c-6 Information „Erste Hilfe bei Einwirken gefährlicher chemischer Stoffe“ (GUV-I 8504), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

c 7 Merkblätter der „M-Serie“ (Gefahrstoffe) der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Jedermann-Verlag, Heidelberg.

c 8 Gefahrstoffe 2009
Universum Verlagsanstalt GmbH KG, Wiesbaden (erscheint jährlich).

CD-ROM

c 9 R. Kühn, K. Birett:
Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe, Ecomed -Verlagsgesellschaft, Landsberg 2008.

c 10 L. Roth, M. Daunderer:
Giftliste, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg.

Loseblattsammlungen

c 11 G. Sorbe:
Sicherheitstechnische Kenndaten – Gefahrenindex chemischer Stoffe, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg.

Monographien

c-12 R.J. Lewis:
Sax’s Dangerous Properties of Industrial Materials, 11. Edition, and Hawley’s Condensed Chemical Dictionary, 15th Edition, CD-ROM Network 6-10, Wiley VCH,Weinheim/Berlin/New York 2009.

c-13 D.B. Walters:
Safe Handling of chemical carcinogens, mutagens, teratogens and highly toxic substances, Ann Arbor Sciences, Ann Arbor, Michigan 1980.

c-14 Deutsche Forschungsgemeinschaft, MAK- und BAT-Werte-Liste 2009, Wi-

ley-VCH, Weinheim / Berlin / New York, erscheint jährlich.

d) Gefährliche chemische Reaktionen und Arbeitstechniken

Vorschriften des Staates und der Unfallversicherungsträger

d-1 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), zu beziehen im Buchhandel.
d-2 Teil 3 „Zentrifugen“ von Kapitel 2.11 „Betreiben von Maschinen der chemischen Verfahrenstechnik“ der Regel „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (BGR/GUV-R 500), ausschließlich erhältlich in der Online-Version http://www.dguv.de.
d-3 Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR/GUV-R 190), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

Sonstige Fachliteratur

d-4 L. Roth, U. Weller:
Gefährliche chemische Reaktionen, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg 2004 (CD-ROM).
d-5 P.G. Urben:
Bredericks Handbook of Reactive Chemical Hazards, Seventh Edition, Academic Press, Oxford, 2007 (Elsevier Ltd.).

e) Feuer- und explosionsgefährliche Stoffe; Brandverhütung und -bekämpfung

Vorschriften des Staates und der Unfallversicherungsträger

e-1 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), zu beziehen im Buchhandel.
e-2 Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), (BGR/GUV-R 104), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.
e-3 Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (BGR/GUV-R 132), zu beziehen von Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger.

Sonstige Fachliteratur

e-4 G. Rodewald, A. Rempe:
Feuerlöschmittel – Eigenschaften, Wirkung, Anwendung, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 2005.
e-5 K. Nabert, G. Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe, 3. überarbeitete Auflage, zwei Bände mit CD-ROM, Deutscher Eichverlag, Braunschweig 2006.

f) Toxikologie chemischer Arbeitsstoffe

Loseblattsammlungen

f-1 H. Greim:
Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten und Einstufungen, 46. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim/Berlin/New York 2009.

Monographien

f-2 K. Aktories, U. Förstermann, F.B. Hofmann, F. Bernhard:
Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie, 10. Auflage, Elsevier, München 2005.

f-3 F.-X. Reichl:
Taschenatlas Toxikologie, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2009

g) Entsorgung

Monographien

g-1 D. Bernabei:
Sicherheit – Handbuch für das Labor, GIT-Verlag, Darmstadt 2002.

Loseblattsammlungen

g-2 L. Roth: Gefahrstoff-Entsorgung, Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg.

II. Informationen im Internet

a) Allgemeine Informationen über Arbeitssicherheit

a-1 Vorschriften und Regelwerk der DGUV: http://www.dguv.de
a-2 Staatliche Vorschriften und Technische Regeln: http://www.baua.de/prax/index.htm
a-3 AK Laboratorien des Fachausschusses Chemie: http://www.bgchemie.de/laboratorien

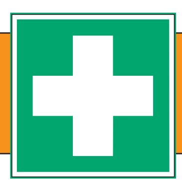
b) Informationen zu Gefahrstoffen

b-1 GESTIS-Stoffdatenbank der gesetzlichen Unfallversicherungsträger: http://www.dguv.de ▯Webcode: d11892
b-2 Informationsstelle für Sicherheitsdatenblätter (ISI) beim Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) http://www.dguv.de ▯Webcode: d6130 Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (GisChem): http://www.gischem.de
b-4 Stoffdatenbank der Firma Merck (ChemDAT): http://www.chemdat.de

Weitere Internet-Adressen sind in der Broschüre „Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen – PC-Programme und Datenbanken“ (GUV-I 8518), der DGUV enthalten: http://www.dguv.de

Anhang E

Stichwortverzeichnis

Sofortmaßnahme  am Unfallort

1 Retten

- Verletzte unter Selbstschutz aus Gefahrenbereich bringen
- Alarmieren weiterer Personen im Gefahrenbereich
- Gegebenenfalls Abschalten von Gas, Wasser, Strom; ggf. Not-Aus betätigen

2 Hilfe anfordern

Notruf-Nr. / Zimmer-Nr. / Adresse eintragen

Ersthelfer:

Notarzt:

Feuerwehr:

Giftzentrale:

Augenarzt:

Chirurgische Ambulanz:

Notrufangaben:

Wo geschah es?
Was geschah?
Wieviele Verletzte?
Welche Art von Verletzungen?
Warten auf Rückfragen!

3 Erste Hilfe leisten

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

Mittelstraße 51, 10117 Berlin
Tel.: +49 30 288763800
Fax: +49 30 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de